

Viabilidad del residuo estéril de carbón como alternativa de sustratos para la producción de material vegetal, en Enciso Santander

Camilo Andrés García Blanco, Laura Bibiana Suarez Chaparro

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Forestal

Director

Ricardo Andrés Oviedo Celis

MSc. Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente

Codirector

Doris Duarte Hernández

MSc. Manejo, Uso y Conservación del Bosque

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional de Educación a Distancia IPRED

Ingeniería Forestal

Málaga, Santander

2023

### **Dedicatoria**

A Dios por permitirme llegar a esta meta, colmándome de sabiduría y perseverancia hasta lograr lo propuesto.

A mis padres y mi hermano, que siempre han sido la base principal de mi vida, porque con sacrificio, paciencia y amor han hecho parte fundamental de todo este proceso, es por ellos y para ellos este logro alcanzado.

A mi familia en general, porque cada uno de ellos estuvo siempre apoyando este proceso, con palabras de motivación hicieron que el camino a la meta se volviera más agradable.

***Laura.***

### **Agradecimientos**

A la Universidad Industrial de Santander, por permitirme formar como profesional y poner a disposición los recursos necesarios para avanzar cada escalón recorrido en este proceso.

A mi director el profesor Ricardo Andrés Oviedo Celis y mi codirectora la profesora Doris Duarte Hernández, quienes hicieron parte importante de esta larga travesía resolviendo cada inquietud que surgía en el camino, un agradecimiento especial para ellos, unas excelentes personas y profesionales.

A todos los profesores que hicieron parte importante de mi formación académica, por impartir sus conocimientos de la manera más amable posible.

A mis amigos y compañeros en general que fueron partícipes de mi proceso de aprendizaje, porque las anécdotas y risas nunca faltaron, gracias y muchos éxitos a cada uno de ustedes.

***Laura.***

**Tabla de Contenido**

Introducción .....	12
1 Objetivos .....	15
1.1 Objetivo General.....	15
1.2 Objetivos Específicos .....	15
2 Marco referencial .....	16
2.1 Marco histórico.....	16
2.2 Marco teórico.....	17
2.2.1 <i>Minería de carbón</i> .....	17
2.2.2 <i>Residuos minería de carbón</i> .....	18
2.2.3 <i>Sustratos forestales</i> .....	19
2.2.4 <i>Gestión forestal sostenible</i> .....	20
2.2.5 <i>Entelrobium cyclocarpum J.</i> .....	21
3 Metodología .....	22
3.1 Área de estudio .....	22
3.2 Obtención residuo estéril de mina .....	24
3.3 Composición físico-química del material estéril .....	24
3.4 Obtención del germoplasma .....	25

3.5	Instalación de camas germinadoras .....	26
3.6	Germinación y control del material vegetal .....	26
3.7	Conformación sustrato de estudio .....	27
3.8	Toma de datos.....	28
3.9	Diseño experimental y análisis estadístico .....	29
4	Resultados .....	29
4.1	Caracterización fisicoquímica material estéril .....	29
4.2	Determinación composición y mezcla adecuada de sustrato.....	32
4.2.1	Pruebas de normalidad .....	32
4.2.2	Análisis de varianza .....	34
4.2.3	Prueba de Tukey.....	36
4.3	Evaluación de crecimiento.....	39
4.4	Evaluación de desarrollo .....	47
5	Discusión.....	47
6	Conclusiones .....	49
7	Recomendaciones .....	50
	Referencias Bibliográficas .....	51
	Apéndice.....	60

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Parámetros Físico – Químicos análisis material estéril.....	24
<b>Tabla 2.</b> Tratamientos definidos para el estudio.....	27
<b>Tabla 3.</b> Variables analizadas .....	28
<b>Tabla 4.</b> Mineralogía de las lutitas .....	30
<b>Tabla 5.</b> Valores medios variables de crecimiento <i>E. cyclocarpum</i> municipios de Enciso y Málaga Santander, Colombia. ....	32
<b>Tabla 6.</b> ANOVA de un factor tratamientos Enciso.....	34
<b>Tabla 7</b> ANOVA de un factor tratamientos municipio de Málaga.....	34
<b>Tabla 8.</b> Prueba TUKEY para tratamiento municipio de Enciso .....	37
<b>Tabla 9.</b> Prueba TUKEY para tratamiento municipio de Málaga .....	38
<b>Tabla 10.</b> ANOVA para variable altura Enciso y Málaga.....	40
<b>Tabla 11.</b> ANOVA para variable nudos Enciso y Málaga .....	42
<b>Tabla 12.</b> ANOVA para variable Longitud de hojas parte baja Enciso y Málaga .....	43
<b>Tabla 13.</b> ANOVA para variable Longitud de hojas parte media Enciso y Málaga .....	44
<b>Tabla 14.</b> ANOVA para variable Longitud de hojas parte Alta Enciso y Málaga .....	46

**Lista de Figuras**

<b>Figura 1</b> Localización área de estudio Mina Peña Rica 1 Municipio Enciso Santander .....	23
<b>Figura 2.</b> Prueba de Normalidad de Kolmogorov smirnov Enciso .....	33
<b>Figura 3-</b> Prueba de Normalidad de Kolmogorov smirnov Málaga .....	33
<b>Figura 4.</b> ANOVA de tratamientos para el municipio de Enciso .....	35
<b>Figura 5</b> ANOVA de tratamientos para el municipio de Málaga. ....	36
<b>Figura 6.</b> Diferencias entre tratamientos municipio de Enciso.....	38
<b>Figura 7.</b> Diferencias entre tratamientos municipio de Málaga .....	39
<b>Figura 8.</b> Box plot altura Enciso y Málaga.....	41
<b>Figura 9.</b> Box plot nudos Enciso y Málaga .....	42
<b>Figura 10.</b> Box plot longitud de hojas bajas Enciso y Málaga .....	43
<b>Figura 11.</b> Box plot longitud de hojas medias Enciso y Málaga .....	45
<b>Figura 12.</b> Box plot longitud de hojas altas Enciso y Málaga .....	46

**Lista de Apéndices**

<b>Apéndice A</b> Muestra estéril de carbón .....	60
<b>Apéndice B.</b> Análisis de laboratorio Agrosavia .....	60
<b>Apéndice C</b> Proceso de germinación vivero UIS – Sede Málaga .....	61
<b>Apéndice D.</b> Diseño experimental Málaga.....	61
<b>Apéndice E.</b> Diseño experimental Enciso .....	62

## Glosario

**Análisis de varianza:** es una técnica estadística que consiste en el análisis de datos experimentales

**Carbón:** Roca sedimentaria de color negro, con alta concentración de carbono y con variedad de otros elementos como azufre, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno. El carbón es utilizado como combustible fósil.

**Estéril de Carbón:** es un material que se encuentra recubriendo el manto de carbón en el interior del yacimiento y sus propiedades fisicoquímicas no son suficientes para dar un uso productivo.

**Material vegetal:** se le denomina a las plantas y sus partes, junto con sus productos transformados o no.

**Minería:** es el conjunto de labores necesarias para explorar un yacimiento, de un mineral ya sea de manera subterránea o superficial.

**Patio de acopio de estéril:** es un centro de acumulación de materiales considerados en minería de carbón como residuos rocosos, encontrados en el proceso de extracción de carbón.

**Sustrato:** es la materia, sustancia o base, que sirve de sostén a una especie vegetal, aportando minerales como carbono, nitrógeno y oxígeno, los cuales son fundamentales para su desarrollo y crecimiento. El sustrato dominante en el ambiente es el suelo.

### Resumen

**Título:** Viabilidad del residuo estéril de carbón como alternativa de sustratos para la producción de material vegetal, en Enciso Santander\*

**Autor:** Laura Bibiana Suarez Chaparro, Camilo Andrés García Blanco\*\*

**Palabras clave:** Viabilidad, sustratos, carbón, residuo estéril, tratamientos y análisis estadístico

#### Descripción:

La producción de material vegetal para proyectos forestales, requiere de sustratos de crecimiento que generen las mejores condiciones para la plántula. El estudio, evalúa la viabilidad de emplear material estéril generado como residuo en la extracción de carbón en minas de socavón en el municipio de Enciso Santander Colombia, como sustrato forestal. Inicialmente, se caracterizó el material estéril en aspectos químicos, luego, se conformaron cinco tratamientos con material estéril, bovinaza, caprinaza, suelo y cascarilla de arroz en diferentes fracciones, donde el testigo no presento el estéril. La evaluación se realizó en un diseño factorial de bloques al azar, en los municipios de Málaga y Enciso, donde fue sembrada la especie *Entelrobium cyclocarpum* J. seleccionada por su importancia ecológica en ecosistemas secos del trópico. La altura, longitud de hojas y número de nudos, fueron las variables seleccionadas para evaluar la respuesta del crecimiento respecto del tratamiento. Los datos, fueron sometidos a pruebas de normalidad, ANOVA y Tukey ( $p > 0,05$ ). Los resultados reflejan las bondades del residuo estéril desde su composición química para ser empleado en viveros forestales, sin embargo, otras características pueden afectar su rol como sustrato. Los cinco tratamientos en las dos localidades, mostraron diferencias significativas, sin embargo, T0 fue la mejor alternativa respecto de los demás. El desarrollo de nudos y longitud de hojas bajas, fueron las variables que mejor respuesta tuvieron al ensayo, esto en tratamientos que contenían en residuo estéril, y pueden ser tenidas en cuenta para la gestión de viveros forestales que propaguen especies del bosque seco.

---

\*. Trabajo de grado

\*\* Instituto de proyección regional a distancia IPRED. Programa Ingeniería Forestal. Director Ricardo Andrés Oviedo Celis MSc. Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Codirector: Doris Duarte Hernández MSc. Conservación de Bosques.

### Abstract

**Title:** Feasibility of sterile coal waste as an alternative substrate for the production of plant material, in Enciso Santander

**Author:** Laura Bibiana Suarez Chaparro, Camilo Andrés García Blanco

**Keywords:** Viability, substrates, carbon, sterile waste, treatments and statistical analysis.

### Description:

The production of plant material for forestry projects requires growth substrates that generate the best conditions for the seedling. The study evaluates the feasibility of using sterile material generated as waste in the extraction of coal in tunnel mines in the municipality of Enciso Santander Colombia, as a forest substrate. Initially, the sterile material was characterized in chemical aspects, then, five treatments were made with sterile material, bovinaza, caprinaza, soil and rice husk in different fractions, where the control did not present the sterile. The evaluation was carried out in a randomized block factorial design, in the municipalities of Málaga and Enciso, where the species *Entelrobium cyclocarpum* J. selected for its ecological importance in dry tropical ecosystems was planted. The height, length of the leaves and number of nodes were the variables selected to evaluate the growth response with respect to the treatment. The data were subjected to normality tests, ANOVA and Tukey ( $p > 0.05$ ). The results reflect the benefits of the sterile residue from its chemical composition to be used in forest nurseries, however, other characteristics may affect its role as a substrate. The five treatments in the two locations showed significant differences, however, T0 was the alternative that provided the best results in terms of the behavior of the growth variables. The development of nodes and length of lower leaves were the variables that had the best response to the test, this in treatments that contained sterile residue, and can be taken into account for the management of forest nurseries that propagate dry forest species.

---

\*Degree work

\*\* Institute for regional projection at a distance IPRED. Forest Engineering Program. Director Ricardo Andrés Oviedo Celis MSc. Sustainable Development and Environment. Co-director: Doris Duarte Hernández MSc Forest Conservation.

### Introducción

Las actividades antrópicas impactan los ecosistemas forestales de manera negativa. Sin embargo, aquellas de enfoque económico productivo catalogadas por Rocha et al., (2018), como vitales para la supervivencia de las comunidades, generan mayores afectaciones en los recursos naturales y el patrimonio forestal. En este sentido, el incremento poblacional demandará con el tiempo un aumento de este tipo de actividades extractivas, que implican igualmente mayor explotación de materias primas naturales (Domínguez et al., 2019). Bajo este contexto, la minería es reconocida por su valioso aporte en términos macroeconómicos, al ser el motor que dinamiza la economía en diferentes escalas del territorio. Al interior de la matriz energética nacional, la minería de carbón es un insumo estratégico para la industria que favorece el crecimiento y desarrollo de las regiones productoras del mineral, al generar estabilidad monetaria (Bustamante et al., 2021). Al respecto, la Agencia Nacional de Minería [ANM] (2019), menciona que el sector minero de carbón colombiano a partir del año 2002 reporta un incremento de volúmenes de exploración, explotación y comercialización que representa un aumento progresivo de 63 millones de toneladas de este mineral para el año 2002.

Para Dietz (2018), el sector minero en Colombia presenta una segmentación en 34 distritos ubicados principalmente en la región Andina, Pacífico y Caribe, que muestran la pluralidad de esta actividad productiva en el territorio nacional. Por su parte, Candelo (2018), reporta que la participación de la minería de carbón a nivel nacional es del 51,8%, seguida del níquel con el 21,2%, oro con el 14,6% y el restante 5,3% corresponde a materiales de construcción. De esta forma, el carbón se posiciona como un mineral estratégico para la estabilidad económica nacional,

que incentiva el desarrollo de la actividad, pero igualmente implica la planificación de acciones de gestión ambiental y forestal que permitan continuar con su explotación sin que esto represente un incremento de los actuales niveles de afectación en los bosques como los ubicados en la franja seca tropical.

Para el departamento de Santander, la actividad minera en la actualidad se desarrolla en 570 títulos mineros, que cubren un área aproximada de 213.495 ha, de las cuales 16% corresponde a explotación de carbón (Agencia Nacional de Minería [ANM], 2017). En la provincia de García Rovira, ubicada al nororiente de Santander, igualmente se realiza actividad extractiva de carbón. De los 12 municipios que la conforman, Enciso, localizado a la margen derecha del río Tunebo concentra la mayor cantidad de áreas destinadas a la extracción de carbón en socavón. Estas, en promedio producen 600 toneladas al año (ANM, 2017). Sin embargo, su ejecución genera volúmenes considerables de residuos denominados estériles que para Zoche et al., (2017), corresponden a rocas similares al carbón pero que no cuentan con las mismas propiedades fisicoquímicas ni calóricas para ser objeto de aprovechamiento comercial. Así mismo, la Guía Ambiental de Minería Subterránea de Carbón en Colombia, define los estériles como materiales generados de la actividad minera, que deben disponerse en patios de acopio y escombreras. Para Cubillos et al., (2017), este tipo de residuos estériles no han sido objeto de manejo ambiental en la mayoría de las áreas de extracción a nivel global y es poca la información que se tiene de los mismos. Situación, que ha generado impactos ambientales en las áreas de influencia directas e indirectas de estas minas como por la pérdida de coberturas naturales, desplazamiento de fauna silvestre, contaminación de cuerpos de agua, altos niveles de contaminación del aire y suelo y afectaciones en la salud de las personas, por su disposición (Agencia Internacional de Energías Renovables [IRENA], 2018). En la actualidad este panorama se presenta a menor escala en la mina

Peña Rica 1, ubicada en la Vereda Agua Sucia del Municipio de Enciso Santander, donde se estima la generación de 60 toneladas al mes, sin embargo, este material de mina no cuenta con estudios sobre su potencial como insumo para ser reutilizado. En este contexto, el presente trabajo de grado evaluó bajo un enfoque teórico experimental, alternativas para el uso potencial de material estéril generado de actividad minera en el área de estudio, del cual no se reportan información. Los resultados aportados, establecen una línea base como alternativa para que propietarios y comunidad en general de la zona, hagan uso de este material como sustrato de propagación de especies forestales en el Bosque Seco Tropical. De tal forma, que sea destinado a procesos de reforestación o restauración ecológica, contemplados como parte de la compensación forestal establecida para estas actividades productivas.

## **1 Objetivos**

### **1.1 Objetivo General**

Analizar la viabilidad de uso de residuos estériles del carbón, como sustrato para la producción de material vegetal con destino a procesos de compensación forestal en el municipio de Enciso, Santander.

### **1.2 Objetivos Específicos**

Determinar la composición física y química del residuo estéril de carbón mineral.

Definir la composición y mezcla adecuada de sustrato para la producción de material vegetal.

Evaluar parámetros de crecimiento y desarrollo de una especie forestal del bosque seco tropical según sustratos empleados.

## 2 Marco referencial

### 2.1 Marco histórico

Desde la conquista hasta la crisis de la deuda externa, la minería ha sido un rasgo clave de la explotación de los pueblos a lo largo y ancho de América Latina (Delgado, 2006). El carbón mineral, empezó a utilizarse como combustible en China, hace unos 2000 años. También, los ingleses para esta época lo conocieron y dieron así un uso para impulsar sus actividades comerciales. A partir del siglo XI el carbón mineral ya se utilizaba en Inglaterra, y en el siglo XIII los ingleses lo explotaban y lo transportaban en barcos a Londres y otros puntos de consumo para producir calor (Monte et al., 2014).

Hacia el año 1558 se empezó a utilizar con mayor asiduidad el carbón extraído de minas en Newcastle y Cardiff. Durante esta época, el gobierno, genero una carga de impuestos sobre sus procesos de extracción y comercialización. Sin embargo, contribuyo al crecimiento de Londres. Situación que favoreció las actividades entorno a la extracción y comercialización de hulla, para satisfacer la demanda de las ciudades que estaban en continuo crecimiento (Ortega et al., 2019).

En el siglo XVIII se descubrieron grandes cantidades de carbón en América del Norte y su consumo se hizo enorme. Fue utilizado en pequeña escala por los indios Hopi en la actual Arizona. El siglo XIX fortaleció la generalización de la extracción y consumo de carbón para el desarrollo del estado y la industria ferroviaria. Yañez et al., (s.f). La Primera Guerra Mundial consolidó al carbón como la principal fuente de energía, aunque tiempo después, el petróleo reemplazó al carbón

como fuente de energía dominante. Pero a fines de la década de 1970, después de la llamada crisis del petróleo, el carbón representaba más del 25 % de la demanda mundial de energía primaria.

La importancia del carbón desde los años 80 del siglo XX, hasta nuestros días es incuestionable. Se puede argumentar que la minería del carbón comenzó a desarrollarse lentamente en el siglo XIX en comparación con otros países más industrializados (Ortega et al., 2019).

La exploración y extracción del carbón tuvo un auge importante en la economía del país, en regiones como Cundinamarca, Boyacá, Antioquia, Norte de Santander y Santander, siendo para este último departamento parte de la historia de un mineral clave en la región, protagonista de la vida de nuestros antepasados indígenas e indispensable para generar empleo a comunidades campesinas que durante años han habitado la región y son testigos claves para relatar la historia del surgimiento del carbón mineral (Campuzano, 1994).

## 2.2 Marco teórico

### 2.2.1 Minería de carbón

Los materiales minerales naturales son considerados insumos base para el sector industrial. Estos, hacen posible que sectores de la producción como el minero sean pieza clave de la economía de los países. Sin embargo, su desarrollo como actividad productiva causa impactos a nivel económico, ambiental, social y laboral en los territorios (Leguizamo & Ruiz, 2019).

La minería, es una actividad productiva que extrae, procesa y transforma minerales del suelo y subsuelo, para fines industriales y energéticos (ANM, 2019). Su auge en el mundo, en los últimos años ha sido notorio, por el incremento de precios internacionales de sus productos y subproductos, y un dinamismo de los actores de inversión. Este panorama, no es ajeno en América

Latina donde la (Asociación Nacional de Empresarios de Colombia [ANDI], 2017), indica que este sector ha mostrado mayores avances en aspectos logísticos, técnicos y financieros.

Colombia dispone de importantes reservas geológicas en el Cinturón Andino y el Escudo Amazónico, donde existe diversidad de materiales rocosos con diferentes propiedades estructurales y químicas. El territorio nacional, dispone de recursos mineros y energéticos susceptibles de ser explotados como parte de su dinámica y modelo económico (Ministerio de Minas y Energía [MINMINAS], 2018).

La minería de carbón varía de acuerdo con el área donde se desarrolla. Las condiciones climáticas, los factores ambientales y la topografía, son variables relevantes para el proceso de exploración y extracción del carbón (ANM, 2020). Su extracción tiene como fundamento la remoción del mineral desde el interior de la formación rocosa mediante accesos conocidos como socavones. En tal sentido, se reconoce como una técnica de amplio uso a nivel global; empleada en reservas del mineral halladas en vetas a altas profundidades donde el acceso de la maquinaria pesada es limitado.

### 2.2.2 *Residuos minería de carbón*

La industria de extracción y procesamiento carbón y los subproductos de desecho que esta genera, en su mayoría acarrear serios problemas de contaminación en el aire, los suelos y fuentes hídricas (Rueda et al., 2019). Los residuos estériles de carbón producen caos ambientales producto de las actividades mineras, históricamente han sido causa de accidentes que se extienden no sólo a los mineros sino a la población circundante de las áreas donde el mineral es extraído (Gutiérrez, et., 2017).

Los residuos o materiales son generados por la explotación del mineral en socavones y se encuentran mezclados con la veta de carbón, situación, que obliga a su extracción previa para tener

acceso al producto principal de la actividad minera. Sus características, corresponden a rocas de tonalidades grises claras, formas angulares y menor peso una vez es removida del socavón (Gutiérrez et al., 2017).

Según Batista & López (2022), a estos materiales, se les denomina estériles y son rocas similares al carbón pero que no cuentan con las mismas propiedades fisicoquímicas ni calóricas. En la actualidad, se perciben como materiales sobre los cuales no es posible un aprovechamiento comercial, razón por la cual son dispuestos en punto de acopio sin ningún manejo y control; que permita conocer sus potencialidades en usos alternativos que aporten a la sostenibilidad de la actividad minera de carbón de las comunidades (Estrada et al., 2019).

### 2.2.3 *Sustratos forestales*

Los sustratos, corresponden al medio físico que permite el desarrollo radicular de las plántulas durante su permanencia en el vivero (Villota et al., 2019). Para Sánchez (2018), los sustratos en la producción de plántulas en vivero son necesarios ya que este medio se comporta como un elemento estructural para el sistema radicular, que al ser mineral u orgánico influye en los procesos nutritivos Quintero (2017).

La producción forestal en viveros presenta diferentes obstáculos frente al sustrato adecuado para alcanzar el óptimo desarrollo de las plántulas. Para el manejo apropiado de las plántulas en vivero. Siqueira et al., (2017), afirman, que el sustrato debe cumplir con ciertas propiedades físicas como: aireación, drenaje, retención de agua y densidad aparente y propiedades químicas como: pH balanceado, Mg y Ca, además de características que permitan el fácil acceso y manejo dentro del vivero. La necesidad de mejorar los rendimientos en el vivero ha impulsado la actividad forestal. Esto ha fomentado la innovación de materiales viables económicamente, accesibles y fáciles de

preparar. De tal forma que cualquier especie forestal, pueda ser propagada en una relación óptima de recursos disponibles por el reforestador (Cruz et al., 2021).

#### 2.2.4 *Gestión forestal sostenible*

Los recursos forestales de un territorio integran una valiosa matriz de materias primas aprovechables por las comunidades. A partir de estos se crean modelos de producción que hacen del bosque un elemento no solamente ambiental sino de crecimiento y desarrollo social (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2022). Sin embargo, para alcanzar estas metas de producción, es importante que se desarrollen de forma paralela acciones de sostenibilidad y gestión del componente forestal. En este sentido, los pueblos y comunidades perciben la gestión forestal, como una relación basada en los modos de vida, por la simbiosis con el entorno en el que viven. Para Santos et al., (2018), es un escenario que configura técnicas de bajo impacto ambiental, integradas al conocimiento de la biodiversidad que los rodea, con el objeto de consolidar cadenas de valor de la producción basadas en el trabajo familiar y desarrollo sostenible de los territorios donde es materializada.

Miranda et al., (2020), afirma que la gestión forestal, puede ser vista como una alternativa para el manejo de los recursos forestales. Además, es materializada a través de programas y proyectos desarrollados por entidades, organizaciones y comunidades, sin embargo, el acceso a financiamiento nacional y de cooperación internacional es reconocido como una limitante para su puesta en marcha. Una forma de llevar a cabo estos procesos de gestión forestal sostenible es la restauración de ecosistemas, el manejo silvicultural de bosques naturales, cultivos forestales y la implementación de modelos agroforestales entre otros. Lo que implica, intervenir áreas afectadas o de uso forestal, para recuperar aspectos propios de la ecología como: estructura, funcionamiento y composición. Lo anterior, en la búsqueda de retornar a la condición inicial o previa al impacto,

de tal forma que se garanticen las condiciones ecológicas y de sostenibilidad (Moncada et al., 2020).

Bajo este contexto, la disciplina forestal ha adquirido con el paso del tiempo experiencias, que aportan métodos para el alcance de los principales objetivos que tiene la sostenibilidad forestal, en relación con la variedad de usos y contextos económicos existentes en los territorios. Según Miranda et al., (2020), los sistemas de gestión forestal sostenible pueden llegar a tener dos variables. Una es definida como sistemas de gestión forestal de turno de corta, que implica la proyección en tiempo y espacio del uso forestal del suelo con fines comerciales para extracción de madera principalmente. Por otro lado, está la variante denominada sistemas de gestión de cubierta forestal continua, en este caso, el modelo forestal de producción está articulado a la dinámica económica de las familias rurales ya sea como productores o con mano de obra en los proyectos donde es implementada.

Por último, Miranda et al., (2020) afirman que el uso y conservación de los bosques y sus recursos genéticos, así como sus productos y servicios ecosistémicos, contribuyen a la seguridad alimentaria, y mejoran la sostenibilidad de las comunidades locales, que implica un abordaje de interés económico para la conservación del entorno forestal. De este modo, no solo se trata de un enfoque económico de lo forestal. Su gestión, también contribuye a la seguridad alimentaria, la reducción de la pobreza, y al uso racional del territorio, que aporta para garantizar la supervivencia de los ecosistemas, las funciones medioambientales, socioculturales y económicas (FAO, 2022).

### **2.2.5 *Entelorbium cyclocarpum J.***

Especie arbórea llamativa de gran importancia ecológica para la zona de estudio por ser nativa del lugar. Según Olivares et al., (2011), considera un árbol caducifolio, que puede alcanzar

hasta los 45 m de altura, follaje abundante, dando a la amplia copa una forma más ancha que alta, sus hojas son bipinnadas con 4 a 15 pares de pinnas opuestas, miden de 15 a 40 cm de largo; folíolos numerosos (15 a 30 pares por pinna) de color verde brillante que se pliegan durante la noche, posee una corteza externa lisa a granulosa y a veces ligeramente fisurada, gris clara a gris pardusca, con abundantes lenticelas alargadas, suberificadas, dispuestas longitudinalmente, con exudado pegajoso y dulzón. Sus flores están dispuestas en pequeñas cabezuleas pedunculadas axilares, de 1.5 a 2 cm de diámetro, sobre pedúnculos de 1.5 a 3.5 cm de largo. Flores actinomorfas, cáliz verde y tubular; corola verde clara, de 5 a 6 mm. Según Pineda et al., (2017) es una especie secundaria, frecuente de la vegetación perturbada en zonas tropicales, se desarrolla en regiones costeras del país y a lo largo de ríos y arroyos. Su hábitat propicio es de baja elevación. Según Makocki & Valdez (2001), Presenta mejor desarrollo en los suelos conocidos como vertisol pélico y vertisol. Es considerada una especie de fácil adaptación, con potencial para reforestación productiva en zonas degradadas de selva, utilizada en programas de restauración. Buena productora de abono verde. Las hojas tienen elementos necesarios para las funciones vitales de las plantas como N<sub>2</sub>, S, P, K, Ca, Mg y Na.

### **3 Metodología**

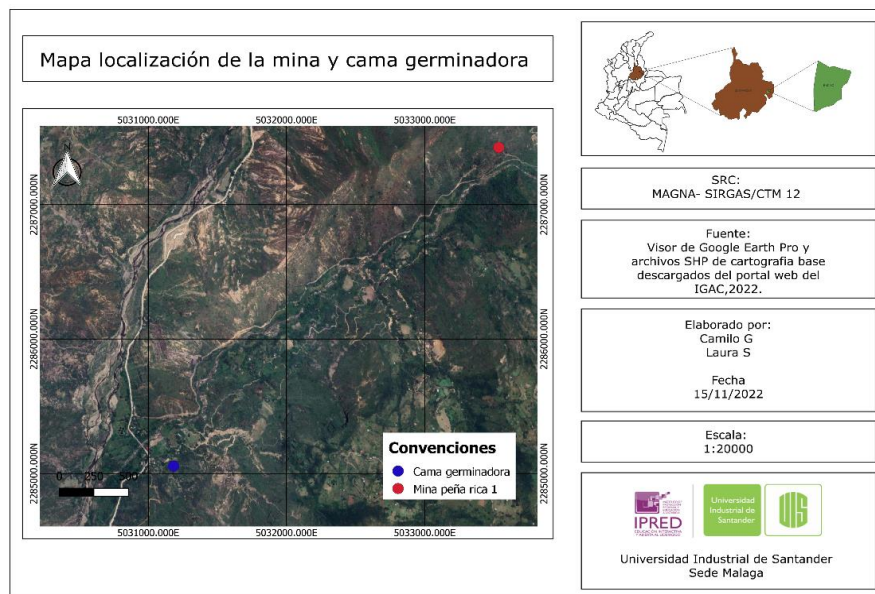
#### **3.1 Área de estudio**

El presente estudio se desarrolló en el sector minero ubicado en la vereda Agua Sucia del municipio de Enciso, Provincia de García Rovira, Santander, Colombia. Se referenció la mina Peña Rica 1 (figura 1). Localizada a 6°36'4.13" N, 72°41' 47.41", donde se llevó a cabo la extracción del residuo estéril de carbón y la propagación de algunos individuos arbóreos, resultantes del

proyecto. El sitio, presenta una precipitación promedio anual de 1300 mm, ubicado sobre 1220 m s.n.m. y una temperatura media de 27°C. registrando una formación vegetal como matarratón (*Gliciridia sepium*), carbonero (*Leucaena leucocephala*), guayacán (*Tabebuia spp.*), cactus (*Opuntia spp.*, *Cereus spp.*), samán (*Albizia saman*), chiminango (*Pithecellobium spp.*), pitaya (*Acanthocereus tetragonus*), mamoncillo (*Melicoccus bijugatus*) y el jobo (*Spondias mombin*, S.), cují (*Prosopis juliflora*), según la clasificación del (Instituto de Investigaciones Biológicas Alexander Von Humboldt [IAvH]. (2013). Para Fajardo (2019), los suelos de esta zona se clasifican como Entisoles e Inceptisoles, de topografía escarpada dominante. Las actividades económicas que más sobresalen en la zona son la agricultura con tendencia marcada de minifundios, la ganadería de caprinos, bovinos y la extracción artesanal de carbón (Figura 1).

### Figura 1

Localización área de estudio Mina Peña Rica 1 Municipio Enciso Santander.



Nota: Elaborado a partir de shape files de Colombia y procesado en Q-Gis 3.30.0

### 3.2 Obtención residuo estéril de mina

El residuo estéril de carbón (RE) empleado para la composición y el análisis de los diferentes tratamientos, fue obtenido de los depósitos ubicados en los patios de acopio de la mina Peña Rica 1. La cantidad empleada para los ensayos fue de 500 kg, recolectados en su estado natural (sólido) y, posteriormente, se preparó para ser empleado como componente de sustrato mediante desintegración mecánica, mediante una maquina mecánica para moler conocida por uso para desintegrar granos.

### 3.3 Composición físico-química del material estéril

Para conocer la composición fisicoquímica del material estéril, este fue tratado como suelo, para lo cual se desintegro por medios mecánicos. Los análisis respectivos se realizaron en el laboratorio de suelo de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA] donde fue enviado 1 kg de muestra previamente molida, la cual no tuvo como criterios de muestro los lineamientos empleados para suelos. Los parámetros analizados se relacionan a continuación

**Tabla 1**

*Parámetros Físico – Químicos análisis material estéril.*

Parámetro	Símbolo	Unidad
pH	pH	Unidades de pH
Conductividad eléctrica	CE	dS/m
Materia Orgánica	MO	g/100g
Carbono Orgánico	CO	g/100g
Fosforo	P	mg/kg

Azufre	S	mg/kg
Capacidad de intercambio Catiónico	CIC	cmol/kg
Boro	B	mg/kg
Acidez	Al+H	cmol/kg
Aluminio	Al	cmol/kg
Calcio	Ca	cmol/kg
Magnesio	Mg	cmol/kg
Potasio	K	cmol/kg
Sodio	Na	cmol/kg
Hierro	Fe	mg/kg
Cobre	Cu	mg/kg
Manganeso	Mn	mg/kg
Zinc	Zn	mg/kg
Saturación de Calcio	Ca	%
Saturación de Magnesio	Mg	%
Saturación de Potasio	K	%
Saturación de Sodio	Na	%
Saturación de Aluminio	Al	%

Nota: Parámetros AGROSAVIA

### 3.4 Obtención del germoplasma

El germoplasma empleado para el estudio fue seleccionado, a partir de dos criterios definidos por los autores. El primero corresponde a la importancia ecológica de especies propias del ecosistema de bosque seco tropical [bs - T], y un segundo criterio que respondió a la

disponibilidad de semillas en la zona de estudio, para el tiempo de construcción de la propuesta. En este caso, el diagnóstico de campo inicial indicó que *Entelorobium cyclocarpum* J. cumplía con los dos criterios. Los frutos y las semillas recolectados fueron sometidos a análisis previos de laboratorio, para establecer su calidad y pureza, con el fin de garantizar resultados óptimos para el ensayo, de igual forma, se realizó el respectivo tratamiento pre germinativo según la composición y estructura de las semillas y su clasificación como ortodoxas (Trujillo, 2017 & Corporación Nacional de Investigación Forestal [CONIF],2002).

### **3.5 Instalación de camas germinadoras**

Para realizar la siembra de las semillas y llevar a cabo el proceso de germinación se estableció una cama germinadora en el municipio de Enciso, la cual se cubrió con poli sombra. En el municipio de Málaga, se decidió hacer uso de las instalaciones del vivero de la UIS- sede Málaga, en el cual se realizó la siembra de las semillas con el fin de rescatar la importancia que tienen las instalaciones que nos ofrece la universidad, de donde finalmente se pudo observar el desarrollo que tuvo la especie antes de ser trasplantadas a contenedores finales.

### **3.6 Germinación y control del material vegetal**

La germinación se llevó a cabo en arena como sustrato, esterilizado previamente con formol al 40% por 1 m<sup>2</sup>. Las semillas que arrojaron óptimas condiciones de calidad fueron sometidas a un tratamiento pre germinativo denominado escarificación manual, para su posterior siembra. Al respecto, el estudio definió igualmente que este proceso se realizaría en dos lugares con diferente oferta ambiental. El lugar 1, corresponde al área natural de *E. cyclocarpum* sobre 1090 m s.n.m., 27 °C y 950 mm, donde fueron sembradas 205 semillas, y el lugar 2, ubicado en municipio Málaga sobre 2220 m s.n.m., 17 °C y 1800 mm, donde se sembraron 300 semillas. La inclusión de Málaga se definió como contraste del estudio, por sus diferentes condiciones ambientales respecto del

Enciso. El riego y control de la germinación, se realizó por 1 mes tiempo para el cual ya se trasplantaron a contenedores finales, cuando la altura aproximada de las plántulas fue de mínimo de 10 cm.

### 3.7 Conformación sustrato de estudio

En esta fase del trabajo, se conformaron las diferentes mezclas de sustrato a partir de materiales previamente seleccionados. Para esto, se realizó consulta previa de los estudios de (Villota et al., 2020, Trujillo, 2017 & Corporación Nacional de Investigación Forestal [CONIF], 2002), quienes sugieren tener como base de conformación de sustratos: Tierra, materia orgánica, cascarilla de arroz y arena, este último en casos específicos. De esta forma los sustratos definidos fueron:

**Tabla 2**

*Tratamientos definidos para el estudio*

<b>Tratamiento</b>	<b>Cascarilla de arroz</b>	<b>Bovinaza</b>	<b>Arena</b>	<b>Suelo</b>	<b>Caprinaza</b>	<b>Residuo Estéril</b>
<b>T<sub>0</sub></b>	10%	0%	20%	70%	0%	0%
<b>T<sub>1</sub></b>	0%	0%	10%	60%	0%	30%
<b>T<sub>2</sub></b>	0%	0%	0%	50%	0%	50%
<b>T<sub>3</sub></b>	0%	0%	0%	50%	20%	30%
<b>T<sub>4</sub></b>	0%	20%	0%	50%	0%	30%

### 3.8 Toma de datos

La frecuencia de registro de datos fue de cada 3 días en un periodo de 4 meses, para establecer este rango, se tuvo en cuenta el crecimiento de *E. cyclocarpum* en vivero y la construcción de una base de datos específica y amplia que ofreció robustez y validez al estudio. Las variables objeto de medición y registro se relacionan a continuación.

**Tabla 3**

*Variables analizadas*

Variable	Unidad	Descripción
Altura	cm	Permite conocer el patrón de desarrollo vertical de una plántula. Está relacionada de forma directa con la estructura de tallo y todos los demás procesos fisiológicos de la planta en sus diferentes estados de crecimiento (Saleem & Zahir, 2019)
Número de nudos	No de Nudos	Punto del tallo donde se origina una hoja o rama con su correspondiente yema axilar Balvanera, (2012).
Longitud de la hoja	cm	Apéndice laminar del tallo encargada de la fotosíntesis. Su desarrollo es igualmente un patrón de crecimiento en la plántula. Estas variables fue medida en la parte alta media y baja de la plántula.

### 3.9 Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental para el estudio fue de bloques completos al azar con dos repeticiones. Los datos aportados por el ensayo; fueron sometidos inicialmente a prueba de normalidad de Kolmogorov Smirnov. Posteriormente, llevaron a cabo análisis de varianza (ANOVA), de un factor ( $p \leq 0,05$ ), bajo las hipótesis  $H_0 =$  Todos los tratamientos son iguales, y  $H_1 =$  Los tratamientos presentan diferencias significativas. Por último, se realizó test de medias según la prueba Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

## 4 Resultados

Se presentan a continuación, los resultados generados del desarrollo metodológico definido en el numeral 3.3

### 4.1 Caracterización fisicoquímica material estéril

El material estéril seleccionado para el estudio, según Barragán y Forero (2014), pertenece a la Formación geológica Barco (Tpb), constituida por capas gruesas a muy gruesas, areniscas de grano fino a medio, que reposan en disconformidad sobre las intercalaciones ondulosas y mantos de carbón. La base de la Formación Barco, es reconocible por abundantes niveles de areniscas conglomeráticas e intercalaciones de capas de lodolitas, limolitas sideríticas y lutitas, estas últimas, de mayor presencia en la zona de estudio. Predominan en la Formación (Tpb) (Baker et al., 2016).

Por lo anterior, el material geológico predominante en la zona de estudio, son rocas denominadas *lutitas*. (Tabla 4). Clasificadas como rocas sedimentarias, compactas, deleznales planares, de grano fino, con fisibilidad, que presentan tonalidades grisáceas claras y oscuras (Yoris,

2013). Petrológicamente, se compone de materiales arcillosos o comúnmente conocidos como minerales de arcilla, en esencia, silicatos aluminicos hidratados (Rosello et al., 2022). Además, contienen porciones de cuarzo, feldespatos potásicos y plagioclasas. También, es común contenidos de óxidos de hierro (hematita, goetita y ferrihidrita), y según Vincenzo (2001), presentan también materia orgánica, carbonatos (calcita) y sulfuros como la pirita.

**Tabla 4**

Mineralogía de las lutitas

Elemento	Descripción
Cuarzo ( $\text{SiO}_2$ )	Representa del 20 al 30%; principalmente detrítico
Feldespatos ( $\text{XAlSiO}_8$ )	La plagioclasa más abundante que el feldespato potásico
Caolinita- Montmorillonita $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})$	Se forma bajo condiciones de fuerte lixiviación (lluvia abundante, buen drenaje y aguas acidas)
Smectita-illita-muscovita $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})$	La illita es la arcilla más abundante en las lutitas
Clorita- vermiculita ( $\text{Mg,Fe}_3$ )	La clorita se forma durante diagénesis
Sepiolita ( $\text{Mg}_4\text{Si}_6\text{O}_{15}(\text{OH})_2$ )	Arcilla rica en Mg
Oxidos de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	La hematita es la más común
Gibbsita ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ )	Hidróxido de Aluminio ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ )

Calcita (Ca CO <sub>3</sub> )	Tanto en continentales como en marinas
Sulfatos SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Bajo condiciones hipersalinas de deposito

Nota: Tomado de INGEOMINAS

La información antes mencionada, fue soporte para comprender y caracterizar el material estéril, tratado en el estudio como suelo. Los resultados arrojados del análisis de laboratorio (Anexo 1), indican presencia en alto grado de materia orgánica (MO), Hierro (Fe), Azufre (S), Magnesio (Mg), Cobre (Co), Manganeso (Mn) y Zinc (Zn). El material estéril (ME), registra un pH interpretado como extremadamente ácido, esto, producto de las características químicas de las lutitas donde la presencia de (SiO<sub>2</sub>) y feldespatos generan esta condición de acidez, más aún, para una propiedad del suelo heredada de la roca madre.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) fue media. Resultado, explicado por la condición de pH del ME, donde las bases aun en una condición de presencia alta; pueden tener limitaciones de disponibilidad para ser absorbidas por las plantas. Situación que compromete la fisiología de las plantas, afectando procesos importantes para la producción de material vegetal, de óptima calidad que garantice la baja mortalidad de las especies forestales en proyectos de reforestación o compensación. El Fósforo (P) y Potasio (K), registran una baja presencia en el ME, resultado que puede reducir sus posibilidades como sustrato, al ser elementos fundamentales para el desarrollo de la membrana celular, el enrizamiento y la fotosíntesis, sin embargo, los valores de pH y las demás características mineralógicas del ME están igualmente asociados a esta condición. Otra propiedad del ME, que llama la atención en el contexto de su potencial uso como sustrato, es la alta presencia de sales solubles, una propiedad que elevada > 3 dS/m causa afectaciones en la planta al reducir la absorción de nutrientes y generar desbalances hídricos.

## 4.2 Determinación composición y mezcla adecuada de sustrato

### 4.2.1 Pruebas de normalidad

La prueba de Kolmogorov Smirnov (Figura 2 y 3), mostro solo normalidad para las variables altura y longitud de hojas bajas en las condiciones de estudio de Málaga. Para el caso de Enciso, ninguna de las variables presentó este comportamiento. Las cinco variables del ensayo en términos generales presentan un patrón alejado de sus valores medios y la desviación estándar (tabla 5). Por tratarse de variables naturales que expresan crecimiento y desarrollo de una plántula, este tipo de comportamiento es viable, a pesar de estar fuera de los principios estrictos de Normalidad. La prueba, se realizó como soporte para definir los demás análisis estadísticos.

**Tabla 5**

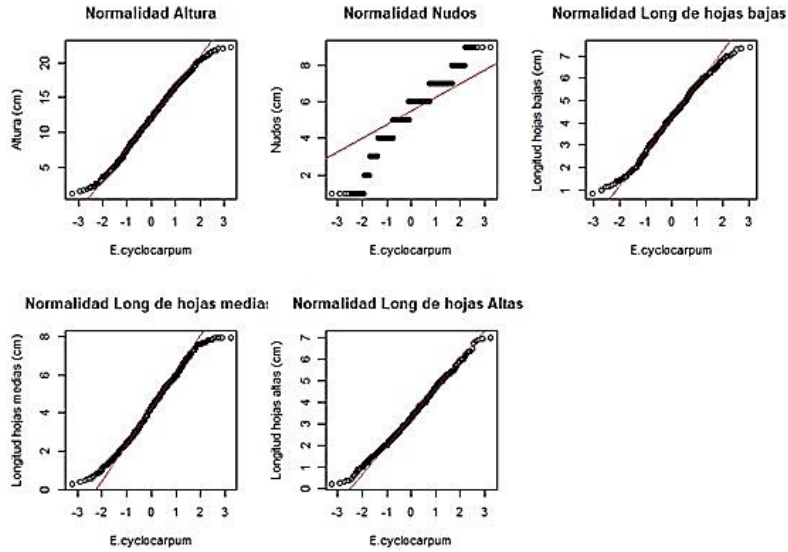
*Valores medios variables de crecimiento E. cyclocarpum municipios de Enciso y Málaga Santander, Colombia.*

Tr	Málaga					Enciso				
	H	N	Long.hb	Long.hm	Long.ha	h	N	Long.hb	Long.hm	Long.ha
<b>To</b>	12,18	5,48	2,32	3,59	3,04	40,71	12,56	6,56	9,48	20,67
<b>T1</b>	15,22	6,05	2,50	4,94	3,85	38,55	11,75	5,42	6,92	9,97
<b>T2</b>	9,54	5,29	2,48	2,96	2,71	25,43	11,42	5,20	5,80	6,79
<b>T3</b>	2,95	1,53	0,48	0,67	0,56	13,95	7,19	3,23	3,89	4,96
<b>T4</b>	5,96	2,68	0,09	1,22	1,50	16,39	6,57	4,51	5,05	6,10

Nota: h: Altura, N: Nudos: Long.hb: Longitud hojas bajas, Long.hm: Longitud hojas medias, Long.ha: Longitud hojas altas.

Figura 2

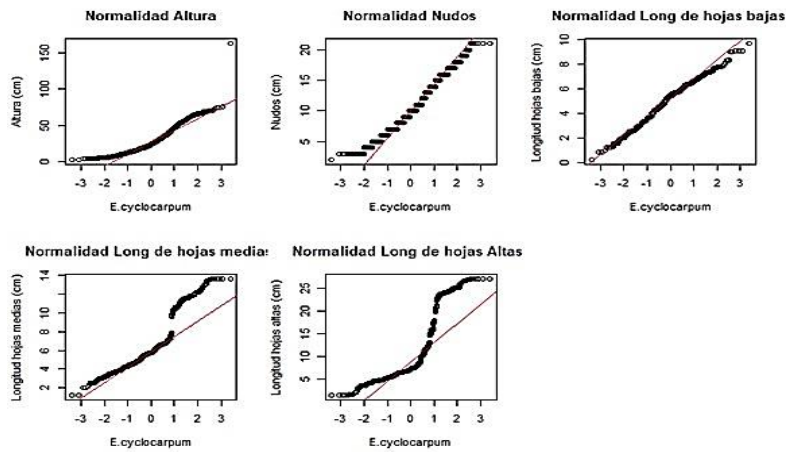
Prueba de Normalidad de Kolmogorov smirnov Enciso



Nota: Prueba de normalidad  $n > 50$ , ( $p \leq 0,05$ )

Figura 3

Prueba de Normalidad de Kolmogorov smirnov Málaga



Nota: Prueba de normalidad  $n > 50$ , ( $p \leq 0,05$ )

#### 4.2.2 Análisis de varianza

El análisis de varianza de un factor, mostro diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) en todas las variables en Málaga y Enciso (tablas 6 y 7), respecto de los tratamientos, aún sobre los resultados de normalidad obtenidos para H y LHB en Málaga. En este sentido, la propagación de especie *E. cyclocarpum*, puede llevarse a cabo fuera de su rango de crecimiento natural, en condiciones ambientales controladas de viveros. Sin embargo, la respuesta de las variables seleccionadas para el estudio muestra patrones de crecimiento en las plántulas que difiere entre Málaga y Enciso.

**Tabla 6**

*ANOVA de un factor tratamientos Enciso*

	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>P(&gt;F)</b>
<b>Tratamiento</b>	4	1582,0	395,5	9,611	0,000167 ***
<b>Residual</b>	20	823,1	41,2		

Nota: \*\*\*. Diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0,05$ )

**Tabla 7**

*ANOVA de un factor tratamientos municipio de Málaga*

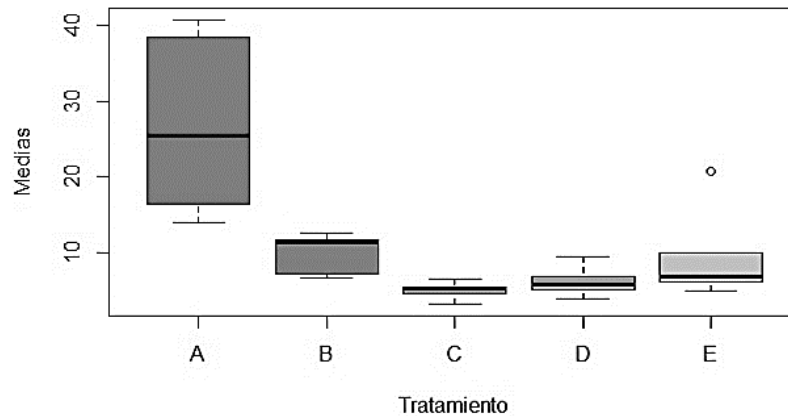
	<b>Df</b>	<b>Sum Sq</b>	<b>Mean Sq</b>	<b>F value</b>	<b>P(&gt;F)</b>
<b>Tratamiento</b>	4	185,2	46,31	6,851	0,00121**
<b>Residual</b>	20	135,2	6,76		

Nota: \*\*. Diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0,05$ )

El análisis por tratamiento mostró que el testigo (A), fue diferente de los demás. Este tratamiento, no contiene residuo estéril y se asemeja a los sustratos tradicionales empleados en viveros forestales, aspecto determinante para generar este comportamiento; respecto de los otros sustratos conformados, donde el material estéril si estaba presente. También, para este tratamiento la mayoría de los datos se encuentran por encima de la mediana; indicando una distribución asimétrica positiva. Para el caso del tratamiento B y C, sus valores se encuentran por debajo de la mediana, contrario a los tratamientos D y E, este último, fue el único donde se registró un valor atípico para el ensayo. En general los tratamientos que contienen el residuo estéril mostraron valores dispersos respecto de la media en el municipio de Enciso (figura 4).

#### Figura 4

*ANOVA de tratamientos para el municipio de Enciso*



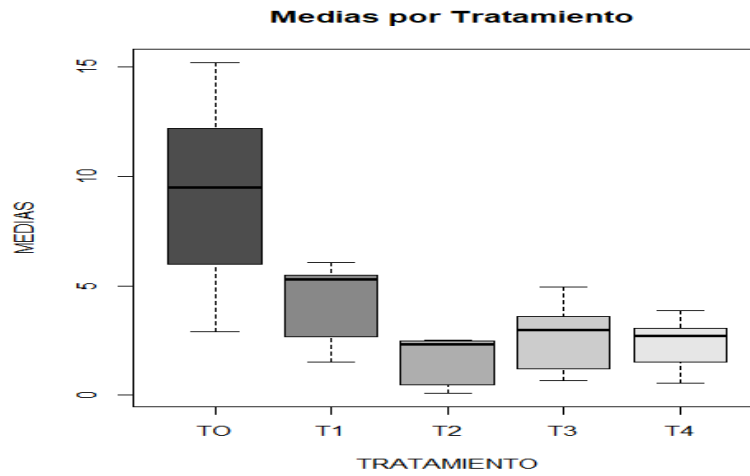
Nota: A =T<sub>0</sub>, B=T<sub>1</sub>, C=T<sub>2</sub>, D=T<sub>3</sub> y E=T<sub>4</sub>

Para el municipio de Málaga, de igual manera se evidencio que el tratamiento A fue el que obtuvo mejores resultados respecto de los demás. En los tratamientos B y C, sus valores medios se ubican en el tercer cuartil, indicando una dispersión alta. Para los tratamientos D y E, sus medias

fueron similares, sin embargo, hay diferencias respecto del último cuartil en D, y ninguno presento valores atípicos (figura 5).

### Figura 5

*ANOVA de tratamientos para el municipio de Málaga.*



#### 4.2.3 Prueba de Tukey

Los resultados obtenidos en el estadístico de Tukey, comparo las medias de todos los tratamientos en los dos municipios (tabla 8 y 9). Se determinó igualdad entre: C-B, D-B, E-B, D-C, E- C, y E-D todos con presencia de residuo estéril, confirmando así, los resultados del ANOVA (figura 6 y7).

Tabla 8

*Prueba TUKEY para tratamiento municipio de Enciso*

Tratamiento	Diff	Lwr	upr	P adj
<b>B-A</b>	-17,1029333	-29.243683	-4.962183	0.0034698
<b>C-A</b>	-22,0313333	-34.172083	-9.890583	0.0002252
<b>D-A</b>	-20,7666667	-32.907417	-8.625917	0.0004518
<b>E-A</b>	-17,2896667	-29.430417	-5.148917	0.0031274
<b>C-B</b>	-4,9284000	-17.069150	7.212350	<b>0.7431569</b>
<b>D-B</b>	-3,663733	-15.804483	8.477017	<b>0.8923810</b>
<b>E-B</b>	-0,1867333	-12.327483	11.954017	<b>0.9999989</b>
<b>D-C</b>	1,2646667	-10.876083	13.405417	<b>0.9977711</b>
<b>E-C</b>	4,7416667	-7.399083	16.882417	<b>0.7684865</b>
<b>E-D</b>	3,4770000	-8.663750	15.617750	<b>0.9090690</b>

Nota: Nivel de significancia ( $p \leq 0,05$ )

Tabla 8

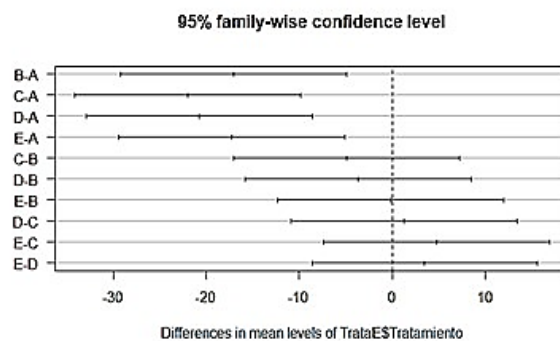
Prueba TUKEY para tratamiento municipio de Málaga

Tratamiento	Diff	Lwr	upr	P adj
B-A	-4.9502083	-9.870530	-0.02988617	0.0481722
C-A	-7.5817181	-12.502040	-2.66139597	0.0014188
D-A	-6.4799444	-11.400267	-1.55962228	0.0064328
E-A	-6.8237083	-11.744030	-1.90338617	0.0040218
C-B	-2.6315098	-7.551832	2.28881236	<b>0.5140078</b>
D-B	-1.5297361	-6.450058	3.39058605	<b>0.8817451</b>
E-B	-1.8735000	-6.793822	3.04682217	<b>0.7841271</b>
D-C	1.1017737	-3.818548	6.02209586	<b>0.9606255</b>
E-C	0.7580098	-4.162312	5.67833197	<b>0.9899896</b>
E-D	-0.3437639	-5.264086	4.57655828	<b>0.9995354</b>

Nota: Nivel de significancia ( $p \leq 0,05$ )

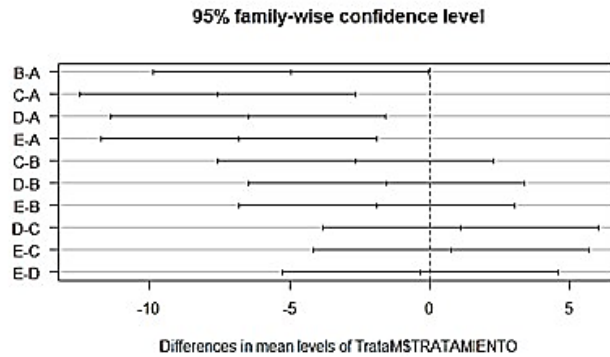
Figura 6

Diferencias entre tratamientos municipio de Enciso



**Figura 7**

*Diferencias entre tratamientos municipio de Málaga*



### 4.3 Evaluación de crecimiento

La evaluación del crecimiento, a partir del análisis por variable evidenció para la altura diferencias significativas entre tratamientos, y se confirma  $H_1$  (Tabla 10). La respuesta de esta variable en los tratamientos, mostró en Enciso que T0 y T1 presentaron los valores más altos, respecto de T2, T3 y T4. En Málaga, los resultados son similares, sin embargo, T1 generó la mejor respuesta para la altura respecto de T0 y los demás tratamientos. En tal sentido, sin ser la mejor respuesta se evidencia la incidencia del residuo en la fracción de 30% que conformó T1 para la altura en los dos ambientes de propagación (figura 8).

**Tabla 9***ANOVA para variable altura Enciso y Málaga*

	Enciso					Málaga				
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
<b>Tratamiento</b>	4	1215,2	303,81	114,9	4,17e-05 ***	189,81	47,45	30,86	0,00102**	
<b>Residuals</b>	5	13,2	2,64			7,69	1,54			

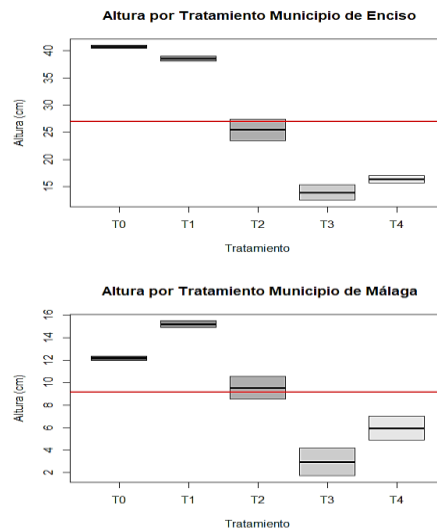
Nota: Df: grados de libertad, Sum Sq: Suma de cuadrados, Mean Sq: Media de cuadrados, F value:

F calculado, Pr(>F): P valor

\*\* . Diferencias significativas entre tratamientos ( $p \leq 0,05$ )

**Figura 8.**

Box plot altura Enciso y Málaga



Respecto de la formación de nudos, también se rechaza la  $H_0$ . En este caso la variable mostro una mejor respuesta para T0, T1 y T2 en las dos localidades. Sin embargo, en Enciso el comportamiento fue mejor en términos de crecimiento, y la especie *E. cyclocarpum* desarrolló mayor cantidad de nudos en T0, aunque T1 y T2 presentaron valores por encima de la media, resultado favorable desde el punto de vista de la calidad del material vegetal propagado. La variable, mostró comportamiento homogéneo en T2 conformado por estéril y suelo en un 50% cada uno.

**Tabla 10.**

*ANOVA para variable nudos Enciso y Málaga*

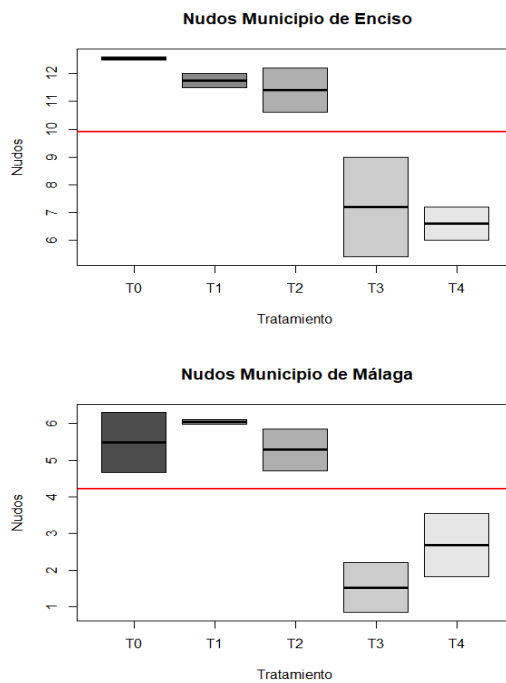
	Enciso					Málaga			
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
<b>Tratamiento</b>	4	61,71	15,42	8,96	0,0167*	31,430	7,857	8,884	0,0171
		9							
<b>Residuals</b>	5	8,61	1,722			4,422	0,884		

Nota: Df: grados de libertad, Sum Sq: Suma de cuadrados, Mean Sq: Media de cuadrados, F value:

F calculado, Pr(>F): P valor

**Figura 9.**

*Box plot nudos Enciso y Málaga*



Para la variable longitud de hojas parte baja en el municipio de Enciso, el tratamiento que presento mejor comportamiento fue T0, seguido de T1 y T2 respectivamente, este último con una distribución simétrica y su mediana similar a la media general. Málaga, presento mejores resultados en esta variable resaltando de igual manera los T0, T1 Y T2, los cuales se encuentran con una distribución considerable y valores por encima de la media general (figura 10), finalmente se observa que se cumple H1 para ambos municipios (tabla 12). Este comportamiento, refleja la incidencia del sustrato en las hojas bajas, donde el mayor desarrollo en longitud se dio bajo las condiciones de oferta ambiental natural la especie forestal seleccionada.

**Tabla 11**

*ANOVA para variable Longitud de hojas parte baja Enciso y Málaga*

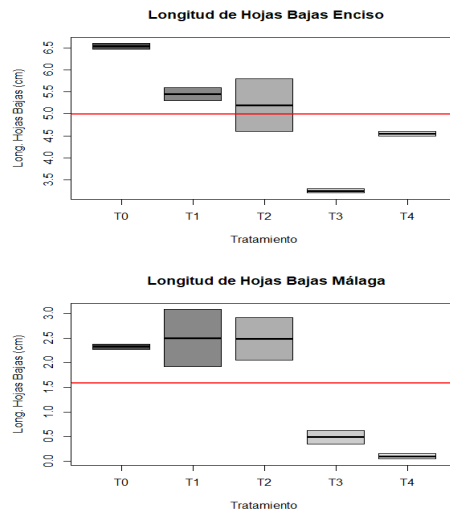
	Enciso					Málaga			
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
<b>Tratamiento</b>	4	11,73	2,933	18,73	0,00327**	11,25	2,811	12,79	0,00776**
		6	9				7		
<b>Residuals</b>	5	0,783	0,156			1,10	0,219		
			6				9		

Nota: Df: grados de libertad, Sum Sq: Suma de cuadrados, Mean Sq: Media de cuadrados, F value:

F calculado, Pr(>F): P valor

**Figura 10**

*Box plot longitud de hojas bajas Enciso y Málaga*



El comportamiento de las hojas parte media, también acepta la H1, tanto en Málaga como Enciso (tabla 13). La variable, también arroja los mejores resultados en los T0 y T1 para los dos municipios respectivamente. Sin embargo, en el municipio de Málaga el T2 presentó simetría y valores por encima de la media general, contrario a T4, donde sus valores fueron dispersos y localizados debajo de la media general (figura 11).

**Tabla 12.**

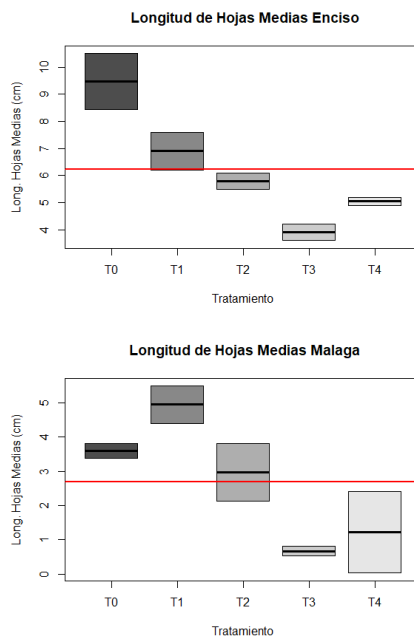
*ANOVA para variable Longitud de hojas parte media Enciso y Málaga*

	<b>Enciso</b>					<b>Málaga</b>			
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Tratamiento	4	35,97	8,994	12,9	0,0076**	24,347	6,087	6,129	0,0363
Residuals	5	3,48	0,697			4,966	0,993		

Nota: Df: grados de libertad, Sum Sq: Suma de cuadrados, Mean Sq: Media de cuadrados, F value: F calculado, Pr(>F): P valor

**Figura 10**

*Box plot longitud de hojas medias Enciso y Málaga*



Por último, la variable longitud de hojas parte alta, indica que T0 tuvo el mejor comportamiento en desarrollo para *E. cyclocarpum*, seguido de T1. En Málaga, el tratamiento que mejores resultados generó para esta variable fue T1, seguido de T0 y T2 respectivamente. Estos, en general se encuentran con valores por encima de la media general, y resalta como la composición de estos incide en el desarrollo y crecimiento de la especie en etapas de vivero (figura 12). Los análisis de ANOVA coinciden con las demás variables y se rechaza H0 (tabla 14).

Tabla 13

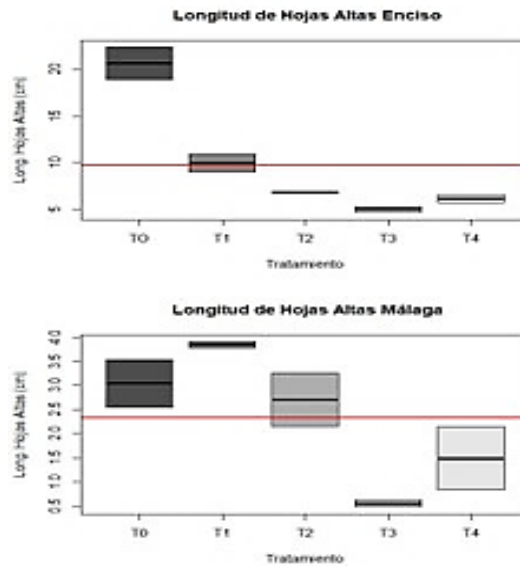
ANOVA para variable Longitud de hojas parte Alta Enciso y Málaga

	Enciso					Málaga			
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
<b>Tratamiento</b>	4	35,97	8,994	12,9	0,0076**	13,556	3,389	8,504	0,0187
<b>Residuals</b>	5	3,48	0,697			1,993	0,399		

Nota: Df: grados de libertad, Sum Sq: Suma de cuadrados, Mean Sq: Media de cuadrados, F value: F calculado, Pr(>F): P valor

Figura 11

Box plot longitud de hojas altas Enciso y Málaga



#### **4.4 Evaluación de desarrollo**

Para determinar el desarrollo de la especie se tuvo en cuenta desde el inicio de la germinación, debido a que las estructuras tanto externas como internas se van modificando, aparecen y desaparecen órganos, esto se pudo observar con el desarrollo foliar, en las diferentes etapas observadas, una de estas corresponde a la aparición de primordios foliares, los cuales se convierten en la base fundamental para la formación de las hojas. Según Barker & Pilbeam (2015), los meristemos axilares se logran dividir mostrando una diferencia con esto, finalmente se forman los primordios. Etapa vista durante la germinación es en esta etapa es donde se dan los cambios metabólicos que necesito la plántula para su correcto desarrollo antes del trasplante a los contenedores finales.

### **5 Discusión**

El uso de materiales alternativos para conformar sustratos de crecimiento en viveros forestales es un aspecto de la silvicultura donde aún se presentan retos en la búsqueda de un ideal para la propagación de material vegetal. En este sentido, la investigación analiza como alternativa de sustrato, el residuo estéril generado por la extracción de carbón en socavones en Enciso Santander, considerado este un material no aprovechable en la región. Su caracterización, mostró bondades respecto del contenido de materia orgánica, y bases intercambiables, propiedades, que Rueda-Sánchez et al., (2014), consideran importantes en un sustrato por favorecer el desarrollo radicular, y el crecimiento aéreo de la plántula. Sin embargo, los valores de pH, CIC y CE identificados, contradicen esto, y concuerdan con Pallares et al., (2017) quienes al Nororiente de España; estudiaron este material y lo trataron por métodos de desintegración como en el presente

estudio, y concluyen que estas rocas presentan estas características, por su alta composición inorgánica de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e impurezas. Estudios de Salto et al., (2016) sobre sustratos forestales en vivero para *Prosopis sp*, cuya área de distribución es similar a *E. cyclocarpum* en Colombia, coinciden respecto del impacto negativo de estas propiedades, en procesos de propagación sexual en viveros forestales.

En el contexto Nacional, este tipo de materiales no se reporta como alternativa de sustrato en viveros forestales, y los resultados del estudio pueden ser considerados línea base en Santander. Para el municipio de Guachetá, un estudio en modalidad trabajo grado realizado por Jiménez (2015), emplea este residuo como medio para crecimiento de pastos, sus resultados difieren de los obtenidos respecto de la caracterización química realizada. En cambio, sectores de la construcción, vías y la industria del petróleo, si lo han integrado a investigaciones como fracciones para elaboración de cementos y mezclas asfálticas principalmente (Rodríguez et al., 2018). En el plano internacional, Bidyutprava y Himanshu (2023) estudiaron este material desde sus propiedades como desfluculante en la India, y Asif et al., (2016) lo analizan como potencial generador de lluvia acida al interior de minas de carbón en Pakistán, estudios enfocados a la gestión ambiental. Las anteriores referencias y su alcance están fuera del contexto del estudio, y su inclusión en este capítulo del documento, busca colocar en evidencia como el sector forestal no contempla aun su uso, esto dentro de la línea de tiempo y bases de datos en que se llevó a cabo la consulta.

Las diferencias halladas entre tratamientos, coinciden con el trabajo de Jiménez (2015), comparación realizada por ser el estudio de mayor grado de similitud encontrado, sin embargo, las variables, la especie evaluadas y las fracciones de residuo empleados fueron distintas, así como la cantidad de tratamientos. Respecto de la evaluación de crecimiento, Villota et al., (2018) destacan la importancia de llevar a cabo procesos de seguimiento y control de las variables que materializan

la evolución de la plántula en vivero. Las variables nudos y longitud de hojas bajas, fueron las que mejores desarrollos tuvieron, esto, puede ser asumido como una ventaja de los tratamientos con residuo estéril en sustratos forestales. En tal sentido, una plántula con formación de nudos y largo de hojas, estará en mejores condiciones de adaptarse a sitio definitivo de siembra. Sin embargo, otras variables como la altura y el desarrollo de hojas medias y altas, generan aún incertidumbre sobre la calidad integral de la plántula que se desarrolle en sustratos que contengan este material estéril en las especificaciones definidas para el presente trabajo.

## **6 Conclusiones**

El estéril generado de la explotación de carbón mineral en el municipio de Enciso Santander, presenta una composición química variada. Por una parte, se puede limitar el desarrollo de plantas por los altos niveles de acidez y presencia de sales solubles. Aun así, existen otras características como el alto contenido de MO y cationes intercambiables, que, favorecen el desarrollo y crecimiento de especies vegetales, sin embargo, la naturaleza mineralógica de las lutitas limita que esto sea posible, situación, que reduce la posibilidad de ser empleado como sustrato en viveros forestales.

Todos los tratamientos empleados para el estudio, presentaron diferencias estadísticamente significativas, y se confirma como la conformación de sustratos y las fracciones de estos, caracteriza una mezcla específica, razón por la cual el estudio aporta lineamientos para profundizar la investigación de sustratos con materiales no comunes como el residuo estéril de carbón, de tal forma, que se constituyan en alternativas para las comunidades y empresas del sector minero en sus planes de compensación ambiental.

La evaluación de crecimiento para la especie *E.cyclocarpum J*, evidencia el potencial que puede tener el material estéril como elemento para conformar sustratos de crecimiento en viveros forestales. Esto se comprobó por el comportamiento de los tratamientos T1 y T2 conformados por 30% y 50% de residuo estéril respectivamente; porcentajes considerables en la composición de los tratamientos que mejor se comportaron influyendo en el desarrollo de la variable nudos y longitud de hojas bajas en los dos municipios.

## **7 Recomendaciones**

Ampliar el estudio del residuo estéril, para conocer más a fondo la composición mineralógica de estas rocas, de tal forma, que puedan con el tiempo ser elementos constitutivos de sustratos forestales, en ensayos de con otras especies forestales

Probar más tratamientos, aumentando el número de repeticiones y estableciendo uno donde este conformado por 100% material estéril, esto como un potencial referente de contraste del comportamiento de las variables reportado en el trabajo.

Adaptar el presente estudio con especies diferentes de ecosistemas locales, para evaluar así la respuesta de las variables seleccionadas en otros contextos de oferta ambiental.

### Referencias Bibliográficas

Agencia Nacional de Minería [ANM]. (2017). Producción Nacional de Minerales 2013.

<http://www.anm.gov.co/?q=regalias-contraprestaciones-economicas>

Agencia Nacional de Minería [ANM]. (2019). Producción Nacional de Minerales.

<https://www.anm.gov.co/?q=cifras-de-produccion-de-mineria-en-el-segundo-trimestre-de-2019>

Agencia Nacional de Minería [ANM]. (2020). Colombia, Explorando Oportunidades.

<https://es.readkong.com/page/explorando-oportunidades-mineria-en-colombia-agencia-1507341>

Agencia Internacional de Energías Renovables [IRENA]. (2018). Global Energy Transformation:

A roadmap to 2050. *International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.*

<https://www.irena.org/publications>

Alarcón V., A. 2000. Nutrición mineral: elementos esenciales y dinámica en el sistema suelo-planta. En: Tecnología para cultivos de alto rendimiento. p. 109-129.

Asif, Q., Maurice, C. & Ohlander, B. (2016). Potential of coal mine waste rock for generating acid

mine drainage. Department of Civil, *Environmental and Natural Resources Engineering,*

*Division of Geosciences and Environmental Engineering, Luleå University of Technology,*

SE-97187 Luleå, Sweden. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2015.10.014>

Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. *Ecosistemas,*

21(1-2)

- Barker, A. & Pilbeam, D. (2015). *Handbook of plant nutrition*. CRC press.
- Baker, S. R., Bloom, N. & Davis, S. J. (2016). Measuring Economic Policy Uncertainty. *The Quarterly Journal of Economics*, 131(4), 1593-1636. <https://doi.org/10.1093/qje/qjw024>
- Barragán, E. & Forero, A. (2014). Análisis meso estructural en el corredor aledaño al río servita entre Enciso y el río Chicamocha, Santander. Trabajo de grado. Geologías. Universidad Industrial de Santander. Repositorio institucional.
- Batista, F. & Lopez, S. (2022). *Preliminary assessment of coal blend quality combining gamma-ray spectrometry and magnetic susceptibility: A case study of the Sabinas Basin, Mexico*. Inst. Min. Metall. vol.122 n.4. <http://dx.doi.org/10.17159/2411-9717/1418/2022>
- Bidyutprava, B & Himanshu, B. (2023). Coal mine waste characterization and defluoridation property. *Departamento de Ingeniería de Minas, NIT, Rourkela, India* <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13244>
- Bustamante, P., García, R., Sánchez, O., Rodríguez, J. & Aguilar, T. (2021). Minería de carbón en Colombia, transformando el futuro de la industria. Recuperado de <https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/24311177/documento+carbon.pdf>
- Campuzano Cuartas, R. (1994). Bibliografía de la historia minera colombiana: balance y perspectivas. *Historia Y Sociedad*, (1), 27–55. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/hisysoc/article/view/20227>
- Candelo, J. M. (2018). Impactos indirectos de la tasa de cambio y los precios del petróleo en una economía no petrolera: aproximaciones VECM y VAR para el Valle del Cauca, Colombia. *Finanzas y Política Económica*, 10(2), 403-436. <http://dx.doi.org/10.14718/revfinanzpolitecon.2018.10.2.9>

- Cubillos, J., Valero, N. & Peralta, A. (2017). Effect of a low rank coal inoculated with coal solubilizing bacteria for the rehabilitation of a saline-sodic soil in field conditions. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, vol. 70, no. 3, pp. 8271-8283. Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional de Colombia. DOI: <https://doi.org/10.15446/rfna.v70n3.62478>
- Cruz, L., Barata, P., Ferreira, E. & Joao, P. (2021). The forestry products value chain and the costs of reshaping it: Multiregional impacts of shrinking the pulp and paper industries in Portugal. *Journal of Regional Research*, núm. 51, pp. 149-165. Asociación Española de Ciencia Regional Madrid, España. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28969606007>
- Delgado, E. F. L. (2006). La importancia del carbón mineral en el desarrollo. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 9(18), 91-97.
- Dietz, K. (2018). Consultas populares mineras en Colombia: Condiciones de su realización y significados políticos. El caso de La Colosa. *Colombia Internacional* (93): 93-117. DOI: <https://dx.doi.org/10.7440/colombiaint93.2018.04>
- Domínguez, R., León, M., Samaniego, J. & Sunkel, O. (2019). Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad: 70 años de pensamiento de la CEPAL, *Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)*, N° 158, Santiago. Recuperado de [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44785/1/S1900378\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44785/1/S1900378_es.pdf)

- Estrada, J., Bulla, M., Rojo, J. (2019). Coal mining activity in colombia: an analysis from instruments of socioeconomic development and territorial planning. *Opera, núm. 26, 2020, Universidad Externado de Colombia*. DOI: 10.18601/16578651.n26.06
- Fajardo, D. (2019). Agricultura, campesinos y alimentos en Colombia (1980-2019). Bogotá D. C, Colombia. *Centro de investigaciones sobre dinámica social*.
- Gutiérrez, A., Obando, C., Moreno, C. (2017). Physical and mechanic characterization of the sterile part of coal, searching for an environmental alternative in civil infrastructure works. *Investigación e innovación en ingenierías, vol. 6, n°. 2*. DOI: 10.17081/ invinno.6.2.3109
- Instituto Alexander von Humboldt [IAvH]. (2013). Verificación de coberturas de bosque seco tropical en el nodo norandino. [http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/31260/13-207PS\\_1.pdf?sequence=1](http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/31260/13-207PS_1.pdf?sequence=1)
- Jiménez, L. (2015). Evaluación del aprovechamiento de estériles de carbón mediante integración de materiales orgánicos en suelos de zonas afectadas por la minería en el municipio de Guachetá. Trabajo de grado. Ingeniería Ambiental. Universidad Libre de Colombia. Repositorio institucional.
- Leguizamo, A. & Ruiz, J. (2019). Impactos ambientales de la minería de carbón sobre el recurso hídrico en el departamento de Boyacá. *Boletín Semillas Ambientales. Bogotá, Colombia. Vol. 13 No. 2 – 2019, pp. 24– 3*. Recuperado de <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/bsa/article/view/15870>
- Makocki, M. & Valdez. (2001). Radial growth periodicity of tree species in a semi-deciduous tropical forest of the Pacific coast of México: Implications for their management. In

Proceedings of the IUFRO joint symposium on tree seed technology, physiology and tropical silviculture. Los Baños, Philippines. University of the Philippines. p. 85-96.

URL: [https://www.researchgate.net/publication/264975223\\_Radial\\_growth\\_periodicity\\_of\\_tree\\_species\\_in\\_a\\_semideciduous\\_tropical\\_forest\\_of\\_the\\_Pacific\\_coast\\_of\\_Mexico\\_Implications\\_for\\_their\\_management](https://www.researchgate.net/publication/264975223_Radial_growth_periodicity_of_tree_species_in_a_semideciduous_tropical_forest_of_the_Pacific_coast_of_Mexico_Implications_for_their_management)

Ministerio de Minas y Energía [MINMINAS]. (2018). Guía ambiental de minería subterránea de carbón.

[http://www.upme.gov.co/guia\\_ambiental/carbon/gestion/guias/min\\_sub/indice.htm](http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/guias/min_sub/indice.htm)

Miranda, K; Amaral, M. (2020). Sustainable Forest Management in Community Use Protected Areas in the Amazon. *Sociedade & Natureza*. 32, pp. 778 – 792. DOI: <https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-51621>

Moncada, M., Borda, A., Vieira, M., Alcázar, C. & González, R. (2020). Elevando la acción colectiva empresarial para la gestión integral del bosque seco tropical en Colombia.

Monte, L. M., Castellanos, M. G., Sánchez, S. T., & Vasco, J. N. (2014). Bárbaros hoscós. Historia de resistencia y conflicto en la explotación del carbón en La Guajira, Colombia. *Revista Opera*, (14), 3.

Olivares, J., Avilés, F., Nova, B., Albarrán, S. & Rojas, O. (2011). Identificación, usos y medición de leguminosas forrajeras en ranchos ganaderos del sur del Estado de México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 14(2): 739-748.

URL: <http://www.redalyc.org/pdf/939/93918231039.pdf> [ Links ]

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2022). Gestión Forestal Sostenible. Recuperado de <https://www.fao.org/forestry/sfm/85084/es/>

- Ortega, Á. J. A., Gómez, L. E. P., & Castellón, J. M. R. (2019). Impacto de la apertura económica en el sector minero en Colombia en el periodo comprendido entre 1991-2017. *Liderazgo Estratégico*, 9(1), 167-176.
- Oviedo, A. & Candelo, J. (2020). Mining and Energy Commodity Price Effects on Colombian Economy . *Cuadernos de Administración*, vol. 36, no. 67, pp. 93-108. Universidad del Valle. DOI: <https://doi.org/10.25100/cdea.v36i67.8641>
- Pallares, J., Herce, C., Bartolome, C. & Peña, B. (2017). Investigation on co-firing of coal mine waste residues in pulverized coal combustion systems. Centre for Energy Resources and Consumption (CIRCE), CIRCE Building e Campus Río Ebro, Mariano Esquillor Gomez 15, 50018 Zaragoza, Spain. [www.elsevier.com/locate/energy](http://www.elsevier.com/locate/energy)
- Pineda, E., Valdez, J., Pérez, C.& Dávalos, R. (2017). Fenología, incremento en diámetro y periodicidad de anillos de crecimiento de *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb (Leguminosae) en Costa Grande, Guerrero, México. *Polibotanica* 43: 1-21. DOI: 10.18387/polibotanica.43.9
- Quintero, E., Gutiérrez, A., Herrera, M. & Villanueva, M. (2017). Manejo estratégico de la producción de residuos estériles de minería sustentable, utilizando prácticas mineras eco-eficientes en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, Vol, 8, no. 2, pp.
- Pulido, O. (2019). Arcillas. En: Recursos minerales de Colombia, vol. 1. Bogotá: Servicio Geológico Colombiano
- Rocha, L., Olivero, J. & Caballero, G. (2018). impacto de la minería del oro asociado con la contaminación por mercurio en suelo superficial de san Martín de loba, sur de bolívar

(Colombia), *Revista. Int. Contam. Ambie.* 34 (1) 93-102.

DOI:10.20937/RICA.2018.34.01.08

Rodríguez, M. (2019). La investigación sobre deserción universitaria en Colombia 2006-2016.

Tendencias y resultados. *Pedagogía y Saberes*, 51, 49-66.

<http://www.scielo.org.co/pdf/pys/n51/0121-2494-pys-51-49.pdf>

Rosselló, Eduardo A., Cossey, Stephen PJ, & Fernández, Guzmán. (2022). El potencial

hidrocarburífero de la cuenca costa afuera de Talara, Perú. *Geología andina*, 49 (1), 1-

17. <https://dx.doi.org/10.5027/andgeov49n1-3383>

Rueda, D., Leal, M., Bonomi, A., Barbosa, L., Cavalett, O. & Rincón, J. (2019). Environmental and

economic assessment of the co-firing of the coal-bagasse mixture in the Colombian

sugarcane mills, *Revista UIS Ingenierías*, vol. 18, no. 2, 2019, pp. 77-88 Universidad

Industrial de Santander DOI: <https://doi.org/10.18273/revuin.v18n2-2019007>

Salto, C., Harrand, S., Oberschelp, L., & Ewens, P. (2016). Crecimiento de plantines de *Prosopis*

*alba* en diferentes sustratos, contenedores y condiciones de vivero. *Bosque*

(Valdivia), 37(3), 527-537. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002016000300010>

Sánchez, N. (2018). Sustratos, tamaño de recipiente y ambiente de cultivo en el crecimiento inicial

de *Cariniana pyriformis* Miers. (Tesis pregrado). Universidad Distrital Francisco Jose de

Caldas, Bogotá. Recuperado de

<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/QuinteroShallonNatalia2018.pdf>

Santos, J., Barreto, P., Scoriza, R., Saggin, J. & De Souza, V. (2018). Arbuscular mycorrhizal

fungi in soils of arboreal Caatinga submitted to forest management *Revista Brasileira de*

*Ciências Agrárias*, vol. 13, no. 1, 2018, pp. 1-6 Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação

- Universidade Federal Rural de Pernambuco. DOI:  
<https://doi.org/10.5039/agraria.v13i1a5497>
- Saleem, A. & zahir, S. (2019). Evaluation of lead tolerant plant growth promoting rhizobacteria for plant growth and phytoremediation in lead contamination. *Revista internacional de contaminación ambiental*, vol. 35, no. 4, 2019, pp. 999-1009 universidad nacional autónoma de México México. DOI: <https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.04.18>
- Siqueira, D., Barroso, D. & Marciano, C. (2017). Lodo de esgoto: diretrizes e o seu uso como fertilizante, condicionador de solo e substrato florestal. *Vértices (Campos dos Goitacazes)*, vol. 19, núm. 3, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Brasil. DOI: <https://doi.org/10.19180/1809-2667.v19n32017p171-186>
- 2145-6097
- Villota, L; Torres, F; Avella, A; Rodríguez, E. & Sánchez, J. (2019). Domesticación de plantas nativas empleadas en procesos de restauración ecológica: un nuevo enfoque para la propagación y el viverismo. *Fundación Natura y Enel – Engesa. Bogotá, D.C. Colombia pp 264.*
- Vincenzo, M (2001). *Los minerales* Cornelis, K., *Manual de mineralogía*, cuarta edición, basado en la obra de J.D. Dana,
- Yañez, C., Rubio, M., Jofre, J. & Carreras, A. (s.f). El consumo aparente del carbón mineral en America Latina, una historia de progreso y frustración
- Yoris, F.G. (2013). ¿Yacimientos “no-convencionales” o “no-tradicionales” ? , ¿ o ambos. En XIV Congreso Colombiano de Geología/Primer Simposio de Exploradores. Congreso - Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Zocche, J., Rohr, P., Damiani, A., Leffa, D., Martins, M., Zocche, C., Teixeira, K., Borges, G., De Jesus, M., Dos Santos, C., Dias, J. & De Andrade, V. (2017). Elemental composition of vegetables cultivated over coal-mining waste. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, vol. 89, núm. 3, pp. 2383. Rio de Janeiro, Brasil. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=32753602037>

Apéndice

Apéndice A Muestra estéril de carbón



Apéndice B. Análisis de laboratorio Agrosavia

**INFORME No.51855 LAURA BIBIANA SUAREZ CHAPARRO 2022-12-01**



Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria



ACREDITADO  
ISO/IEC 17025:2017  
13-LAB-031

**REPORTE DE RESULTADOS LABORATORIO DE SERVICIOS UNA MUESTRA GESTIÓN DE LA AGENDA CORPORATIVA**

**LABORATORIO DE QUÍMICA ANALÍTICA (Química de suelos)**

<b>1. Información del cliente</b>		<b>NOMBRE Y APELLIDO:</b> LAURA BIBIANA SUAREZ CHAPARRO	<b>NUMERO BOLSA:</b> 51855	<b>CÓDIGO DE LABORATORIO:</b> LQAS22-012285
<b>CÉDULA O NIT:</b> 1098102877		<b>DIRECCIÓN:</b> VEREDA QUIRRADA DE VERJA		
<b>DIRECCIÓN:</b> VEREDA QUIRRADA DE VERJA		<b>DEPARTAMENTO:</b> SANTANDER		
<b>MUNICIPIO:</b> CAPITANEO		<b>TEL. Fijo/CEL:</b> 3144132613 / 3144132613		
<b>TIPO DE ANALISIS:</b> FERTILIDAD COMPLETO				

**2. Información de la muestra suministrada por el cliente**

<b>IDENTIFICACIÓN:</b> 51855	<b>ALTURA:</b> 1007m.s.n.m
<b>MATRIZ:</b> Suelos	<b>PROFUNDIDAD:</b> 25 a 35 cm
<b>VEREDA:</b> QUIRRADA DE VERJA	<b>TIPO DE RIEGO:</b> No Tiene
<b>FINCA:</b> EL TACAR	<b>TOPOGRAFIA:</b> Ondulado y Pendiente
<b>PRODUCTOR:</b> LAURA BIBIANA SUAREZ CHAPARRO	<b>DRENAJE:</b> Regular drenaje
<b>CULTIVO(S):</b> Maderable variedad con 0 Día(s) de edad y variedad con 0 de edad	

Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria con acreditación ONAC vigente a la fecha, con código de acreditación 13-LAB-031, bajo la norma ISO/IEC 17025:2017

El laboratorio tiene acreditación ONAC bajo la norma NTC ISO/IEC 17025 en los ensayos de: pH (Acidez activada) en suelos GA-R-46, versión 06, 2021-10-25; Factor disponible Bray 1 (Fáctores disponibles en suelos GA-R-46, versión 07, 2021-10-25); conductividad eléctrica en suelos (NTC 5508:2007 Método B); nutrientes disponibles en suelo calcio, magnesio, sodio y nitrógeno disponibles (Bases intercambiables en suelos GA-R-50 versión 6, 2021-10-25); micronutrientes en suelo por Chien modificado Hierro, Manganeso, Cobalto y Zinc; (NTC 5508:2007 Método D); determinación de Carbono Orgánico en suelo (Determinación de Carbono orgánico en suelo GA-R-119 versión 4, 2021-10-25).

**FECHA DE RECEPCIÓN:** 2022-11-08  
**FECHA DE ANÁLISIS:** De 2022-11-10 a 2022-12-01  
**FECHA DE REPORTE:** 2022/12/01

Yarit Rodríguez Guisado (66966)  
Coordinador Técnico del Laboratorio de Química Analítica

DETERMINACIÓN ANALÍTICA	UNIDAD	MÉTODO	VALOR	INTERPRETACIÓN
pH (1-2,5)	Unidades de pH	Acidez activada en suelos GA-R-46, versión 06, 2021-10-25	3,90	Fuente e intermediosmente ácido
Conductividad eléctrica (CE) (1-5)	dS/m	NTC 5508:2007 Método B	6,21	Mediamente salino
Materia Orgánica (MO)	g/100g	Cálculo según NTC 6403 Wetley & Black	6,28	Alto
Carbono Orgánico (CO)	g/100g	Determinación de Carbono orgánico en suelo GA-R-119 versión 4, 2021-10-25	3,85	
Fósforo (P) Disponible (Bray 1)	mg/kg	Fáctores disponibles en suelos GA-R-46, versión 07, 2021-10-25	14,29	Bajo
Azufre (S) Disponible	mg/kg	Fáctores disponibles de calcio	1006,12	Alto
Capacidad Intercambiable Effect (CICE)	cmol(+)/kg	Cálculo	15,20	Medio
Boro (B) Disponible	mg/kg	Fáctores disponibles de calcio	6,23	Medio
Acidez (AcH)	cmol(+)/kg	KCl	5,42	No indica
Aluminio (Al) Intercambiable	cmol(+)/kg	KCl	3,78	Con restricción
Calcio (Ca) disponible	cmol(+)/kg	Bases intercambiables en suelos GA-R-50 versión 6, 2021-10-25	4,41	Medio
Magnesio (Mg) Disponible	cmol(+)/kg	Bases intercambiables en suelos GA-R-50 versión 6, 2021-10-25	5,06	Alto

CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA, NIT: 820194800-3  
 CENTRO DE INVESTIGACIÓN TIBATÁ  
 KILOMETRO 14 VÍA BOGUERA (CUNDINAMARCA)  
 TELÉFONOS: 422790 EXTENSIÓN: 199  
 suelos@agrosavia.co

O.A.F-87  
Versión: 6  
FECHA DE APROBACIÓN Y PUBLICACIÓN DEL CAMBIO: 2020-10-21

Página 1 de 3

*Apéndice C Proceso de germinación vivero UIS – Sede Málaga*



*Apéndice D. Diseño experimental Málaga*



Apéndice E. *Diseño experimental Enciso*

