

Evaluación del estado y revisión de técnicas de conservación de suelos pertenecientes a ecosistemas de bosque seco tropical

¹Hernández Bustos Laura Camila, ¹Acevedo Pabón Paola Andrea, ²Cabeza Rojas Iván Orlando,

¹laurachernandezb@usantotomas.edu.co, paolaacevedo@usantotomas.edu.co

Universidad Santo Tomás, Facultad de Ingeniería Ambiental, Bogotá D.C, Colombia.

Dirección: Cra. 9 #51-11

²ivancabeza@unisabana.edu.co

Universidad de la Sabana, Facultad de Ingeniería Química, Chía, Cundinamarca, Colombia.

Dirección: campus puente del Común

Abstract

The degradation of soils in tropical dry forest ecosystems (BST) makes the environmental dynamics in the municipalities of our territory, such as El Espinal, Tolima, take a more generic approach when talking about the uses, conservation and importance they have at the local and national level.

Knowing the current state of the soils in relation to the tropical dry forest ecosystem in Espinal Tolima led to more effective research in comparing and analyzing the implementation of recovery techniques such as biochar and composting, describing each of these amendments in terms of the recovery required in samples characterized by biomass growth. Each sample was studied in the laboratory by measuring physico-chemical parameters such as water retention capacity, total nitrogen and organic matter.

The purpose of this study is to make a comparison of soils, which is done by means of a statistical analysis in order to recognize if the components of the soil need to be restored with the aforementioned techniques, as well as to highlight the importance of these techniques since they have been used as an invaluable resource within the framework of the Colombian soils. Part of the study found that the main characteristics have been agricultural intervention, livestock and

urban settlements, generating changes in its physicochemical composition, decrease of organic matter, among others. At the end, it is concluded that the parameters do not show greater degradation (WHC >50%, MO < 1-5%, NTK >0. 25%), however, due to the conditions of the ecosystem, climate, agricultural activities and others, it is necessary to follow up, since the reduction of inorganic fertilization and its complementation through the incorporation of organic amendments and biochar can generate a positive effect in the search for a productive balance between the elements that make up the soil.

Keywords: soil degradation, ecosystem, forest, soil recovery, physico-chemical parameters, climate.

Resumen

La degradación de los suelos en ecosistemas de bosque seco tropical (BST) hace que las dinámicas ambientales en los municipios de nuestro territorio como lo es El Espinal, Tolima tomen un enfoque más genérico a la hora de hablar sobre los usos, la conservación y la importancia que tienen a nivel local y nacional.

Conocer el estado actual de los suelos en relación con el ecosistema de bosque seco tropical en el Espinal Tolima hizo que se lograra una investigación más efectiva a la hora de comparar y analizar la implementación de técnicas de recuperación como el biochar y el compostaje, describiendo cada una de estas enmiendas en función de la recuperación que se requiere en las muestras caracterizadas por el crecimiento de biomasa. Cada muestra se estudió en el laboratorio midiendo los parámetros físico-químicos como capacidad de retención de agua, nitrógeno total y materia orgánica.

La finalidad de este estudio fue establecer una línea base mediante la comparación de suelos muestreados en una explotación agrícola de El Espinal (Tolima), con el objeto de identificar si los componentes del suelo necesitan ser restaurados con las técnicas mencionadas. Parte del estudio encontró que las principales características han sido la intervención agrícola, ganadera y

asentamientos urbanos, generando cambios en su composición fisicoquímica, disminución de materia orgánica, entre otros. Al finalizar, se concluye que los parámetros no muestran mayor degradación (WHC >50%, MO < 1-5%, NTK >0,25%), sin embargo, por las condiciones del ecosistema, del clima, de las actividades agrícolas y demás, es necesario hacer seguimientos, ya que, la disminución de la fertilización inorgánica y su complementación mediante la incorporación de enmiendas orgánicas y biochar puede generar un efecto positivo en la búsqueda del equilibrio productivo entre los elementos que componen el suelo.

Palabras clave: suelos, degradación, ecosistema, bosque, recuperación de suelos, parámetros físico-químicos, clima.

Introducción

El suelo es uno de los recursos naturales más importantes con el que cuenta la humanidad, pero uno de los más ajenos a su cuidado y preservación. Actualmente se cree que su recuperación comprende cierto tiempo dependiendo el tipo y el uso que se le haya dado, sin embargo, al no darle esa importancia que otros recursos naturales tienen, se hace más difícil tener una información real y concisa para lograr preservar el recurso, conocer su estado, su vulnerabilidad, las capacidades de mejora, entre otras propiedades fundamentales con las que cuenta (Zinck, 2005). En Colombia, la importancia de los suelos tiene en cuenta la diversidad de suelos y su fragilidad, experimentando cambios continuos por los diferentes usos que se le otorga, desde impactos negativos como degradación por compactación e impactos positivos como la conservación a través del entendimiento del recurso. Los suelos degradados que se definen como un cambio en la salud de este resultando en una disminución de la capacidad-- del ecosistema para producir bienes o prestar servicios para sus beneficiarios (FAO, 2011). Se estima que en Colombia tan solo el 7.5 % del territorio nacional cuenta con los mejores suelos agrícolas y un 58.11% de suelos que no tienen las condiciones necesarias para uso agrícola y están muy próximos a la roca madre (Álvarez Hincapié et al., 2019), sin considerar los cambios presentados a través de los años por las actividades naturales y antropogénicas.

En el país, la distribución de suelos se encuentra relacionada con el tipo de región y el tipo de ecosistema presente, por lo tanto, conocer cómo se desarrolla el ecosistema, en qué estado se encuentra es tan solo una de las tantas características que deben ser consideradas para lograr un entendimiento holístico, y con información certera que permita un diagnóstico del suelo colombiano. En la mayoría de los departamentos, gran parte de los suelos fértiles, se encuentran en un ecosistema característico por tener una biodiversidad única en plantas y animales, una alta resistencia al estrés hídrico, retención de agua en los mismos, captura de carbono, entre otras (Benítez et al., 2014). Lograr comprender la degradación como esa falta de capacidad de producir biomasa y mantener el equilibrio entre los procesos de formación y la resiliencia adquirida con el tiempo, permite que las condiciones no sean óptimas para un buen desempeño, llevando al suelo a una disminución de su capacidad e incluso de llegar a la falta de aptitudes agrícolas (Lucas, 2013). Al no tener una buena productividad, las condiciones físicas químicas y biológicas del suelo hacen que a nivel social y económico exista una recesión de producción para el sostenimiento de un hogar (desde una escala pequeña), hasta las pérdidas económicas de toda una región; gracias a la generación y demás daños presentados por un mal manejo del recurso suelo (Domínguez et al., 2019).

Entre los principales impactos asociados por diferentes actividades humanas al suelo se encuentran la erosión, compactación, pérdida de materia orgánica, salinización, contaminación y desertificación (Instituto Humboldt, 2019), las retenciones de carbono, la regulación climática, continuar con el ciclo de nutrientes, ser el hábitat de muchos organismos, entre otras funciones especiales que se desarrollan allí (FAO, 2015). Estos son impactos decisivos para el desarrollo saludable de los suelos, y no solo para generar un servicio ecosistémico a la población, si no también poder seguir resguardando esa herencia cultural. Dicho esto, también es importante resaltar que al tener claro los principales daños que se pueden presentar en las tierras, exactamente en suelos de bosque seco tropical hacen que las soluciones para poder mitigar

estos impactos se consoliden y de manera eficaz haya una recuperación sistemática (Instituto Humboldt, 2019).

Para la zona de estudio del presente trabajo (ubicada en la región andina) es importante mencionar la complejidad topográfica, que da lugar a una gran variedad de ambientes biofísicos. El relieve que es ligeramente plano presentando la forma abanico en la parte baja, aledaña al río Magdalena, con pendientes inferiores al 7%, un material parental constituido por sedimentos aluviales que cubren depósitos de toba y con un clima cálido seco el cual corresponde a la zona biótica del bosque seco tropical (BST) (Tamayo salas, 2020).

El BST es el ecosistema seleccionado para analizar los cambios que ha tenido el suelo a causa de actividades antropogénicas y como sus propiedades han ido cambiando a través del tiempo, “Originalmente este ecosistema cubría más de 9 millones de hectáreas, de las cuales quedan en la actualidad apenas un 8%, por lo cual es uno de los ecosistemas más amenazados en el país” (Benítez et al., 2014). Siendo una cifra alarmante para llevar a cabo una recuperación de este, puesto que su tiempo de pérdida es mucho más alto que el de regeneración y esto debido a los impactos negativos presentes no solo en estas zonas de BST, si no en el resto del país. El BST es una formación vegetal boscosa y se distribuye entre los 0-1000 m de altitud, es uno de los ecosistemas más amenazados a nivel mundial por diversas actividades antropogénicas, ya que este ecosistema brinda la posibilidad de mantener especies de insectos que ayudan en el control de plagas y vectores de enfermedades, así mismo, presta servicios fundamentales como la regulación hídrica, la retención de suelos, y la captura de carbono que regula el clima y la disponibilidad de agua y nutrientes. La mayor cobertura de este bosque se encuentra en la región Caribe Colombiana, conformada por el mar Caribe, sus islas y las costas que rodean a este mar. Dicho esto, gran parte de este bosque se encuentra en fincas y propiedades privadas productivas. Como cada tipo de bosque, el BST tiene una diversidad única de plantas y animales, así que estas se han adaptado a condiciones de estrés hídrico, por lo cual presenta niveles de endemismo, es decir, que contiene especies que no se dan en ningún otro tipo de ecosistema

(Instituto Humboldt, 2019). Así mismo presta servicios fundamentales para las comunidades como regulación hídrica, retención de agua en suelos, y captura de carbono que regula el clima, disponibilidad de agua y nutrientes (Minambiente, 2014).

Teniendo en cuenta que el suelo es un ecosistema donde interactúan múltiples factores y que no es posible que un solo indicador provea una información completa, es necesario basarse en los parámetros fisicoquímicos (García et al., 2012). Las características físicas y químicas del suelo son una parte necesaria en la evaluación de la calidad de este recurso, ya que no se pueden mejorar fácilmente, la capacidad de retención de agua (WHC), el nitrógeno (NTK), calcio, el potencial de hidrógeno (pH), y la materia orgánica (MO), son las características del suelo que se han propuesto como indicadores de su calidad, esto porque evalúan el estado del suelo, debido a que en la mayoría de ocasiones existe dificultad al medir directamente sus funciones. Teniendo en cuenta las medidas de recuperación, es clave contar con una remediación, dependiendo de distintos factores como: la zona, la textura, el ecosistema presente y las necesidades que tiene el suelo, ya sea que requiera de un mayor crecimiento de microorganismos o un mayor secuestro de carbono, mejorando sus propiedades físicas y biológicas. Algunos recursos que son de utilidad para llevar a cabo esta mejora son: aplicación de materia orgánica producto del compostaje, y biochar. Estas tecnologías de recuperación tienen el fin de canalizar la contaminación existente o biorremediar las propiedades que se van perdiendo en el suelo (Somerville et al., 2020). Eventualmente, es importante tener un análisis del estado de la tierra para un diagnóstico más profundo y lograr una mejor recuperación si es requerida, a partir de las respuestas que puede tener el suelo con ayuda de las revisiones bibliográficas consultadas en el presente trabajo, para dar una evaluación más certera del estado del suelo, aplicando dichas técnicas.

Como parte del entendimiento de los suelos en la zona de estudio, la taxonomía de suelos de esta se encuentra en la asociación Fluventic Ustropepts con un porcentaje de 40%, y posee una textura franco-arcillosa (FAr) (Guzmán et al., 2004). Gracias a todas las características geográficas y climáticas mencionadas anteriormente, esta región cuenta con uno de los valores

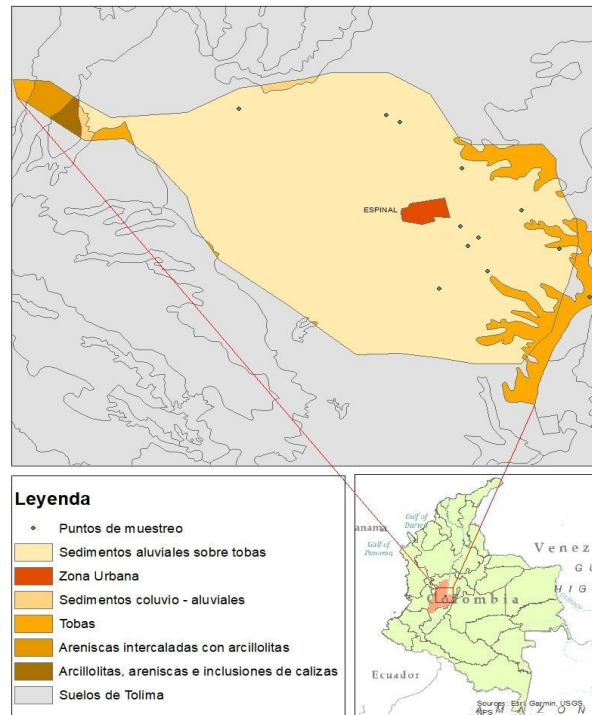
más altos de diversidad de flora y fauna (muchas de ellas endémicas) con una condición limitada de espacio. Además, otro impacto a esta zona de estudio es el nivel poblacional registrado, ya que es una de las regiones con mayor proporción poblacional colombiana, es decir, dos tercios de la población generando así un mayor impacto al recurso y siendo partícipe de los porcentajes de afectación a este ecosistema (IDEAM, 2000). El presente trabajo tiene como enfoque principal evaluar el estado de los suelos de parcelas seleccionadas en el municipio de El Espinal y de los posibles efectos de la aplicación de enmiendas sostenibles para su recuperación de ser necesaria.

I. Materiales y métodos

1. Área de estudio

La investigación se llevó a cabo en Colombia, departamento del Tolima, en el municipio de El Espinal **Figura 1**, sitio que se encuentra a 153 km de Bogotá con dirección suroccidente, y a 57,6 km de Ibagué, este municipio se localiza en la zona centro-sur del departamento del Tolima en la latitud 4°09'0"N y longitud 74°52'59"O. El espinal pertenece a la provincia de Ibagué en piso térmico cálido con una temperatura que varía de 26°C - 38°C y está a 323 msnm, posee una humedad relativa de 66%-74%, y cuenta con una precipitación anual alrededor de 1500 mm y se observa un comportamiento bimodal, existiendo dos épocas de lluvias divididas por dos épocas de bajas precipitaciones. Este municipio objeto de estudio se encuentra dentro de la gran cuenca del río Magdalena, subcuenca del río Coello, y es necesario recalcar que parte del bosque seco tropical se encuentra a lo largo del valle del río Magdalena.

Figura 1. Ubicación del área de estudio.



Fuente: Autores

Tabla 1. Litología de suelos áreas de estudio

Litología del suelo	Descripción
<i>Tobas</i>	Relieve plano, ligera a moderadamente ondulado y quebrado, erosión ligera a moderada por escurrimiento concentrado en cárcavas¹ y canalículo². Muy superficiales, bien y excesivamente drenados; de texturas gruesas; de reacción neutra y pobres en materia orgánica. Asociación: Typic Ustorthents; Lithic Ustorthents; Typic Natrusfalfs.

¹ Una cárcava es un canal natural o incisión causado por un flujo de agua concentrado, a través del cual fluye la escorrentía durante o inmediatamente después de un evento intenso de lluvia

² Erosión en canalículo: es la pérdida de suelo donde se genera micro-relieve, con depresiones de forma lineal (canales) de menos de 1 m de ancho y 0.20 m de profundidad

<i>Sedimentos aluviales sobre tobas</i>	Relieve plano a ligeramente inclinado, sin erosión aparente Moderadamente profundos, moderadamente bien drenados, de texturas variables, ligeramente ácidos y alcalinos y de fertilidad moderada. Asociación: Fluventic Ustropepts; Typic Ustropepts; Typic Haplustolls.
<i>Rocas clásticas arenosas y químicas carbonatadas</i>	Relieve ligeramente quebrado a ligeramente escarpado con pendientes 7-12, 12-25 y 25-50%, afectado en sectores por erosión hídrica laminar ligera³. Suelos moderadamente profundos a muy superficiales, bien drenados, de texturas finas a gruesas, reacción ligeramente ácida, saturación de aluminio baja y fertilidad moderada. Asociación: Lithic Ustorthents; Entic Haplustolls.

Fuente: (Cortolima, 2005).

Como se mencionó al inicio, el suelo de la zona de muestreo tiene un material parental de sedimentos aluviales sobre tobas, es por esto que será el suelo con el que se va a trabajar en el estudio **Tabla 2**.

Tabla 2. Descripción taxonómica

Perfil	BT-79
Taxonomía	Typic Haplustepts
Asociación	Fluventic Ustropepts (40%)

³ Erosión hídrica laminar ligera: son surcos en número escaso a moderado y pequeños; el horizonte A puede estar algo reducido ocasionalmente.

Geomorfología	paisaje, piedemonte; tipo de relieve, abanico terraza.
Clima edáfico	isohipertérmico, ústico
Uso actual	cultivos transitorios comerciales tecnificados (arroz)

Fuente: Autores

Ya que la toma de muestras se hizo a 20cm de profundidad se tomará el horizonte A, que según (Guzmán et al., 2004) en dicho perfil define este:

A: color en húmedo, gris muy oscuro; textura franco-arenosa; estructura débil en bloques subangulares y angulares finos y medios; consistencia friable, ligeramente pegajosa y ligeramente plástica; abundantes poros finos y medios; pocas raíces finas y medias; límite claro y plano (Guzmán et al., 2004).

Recolección de muestras

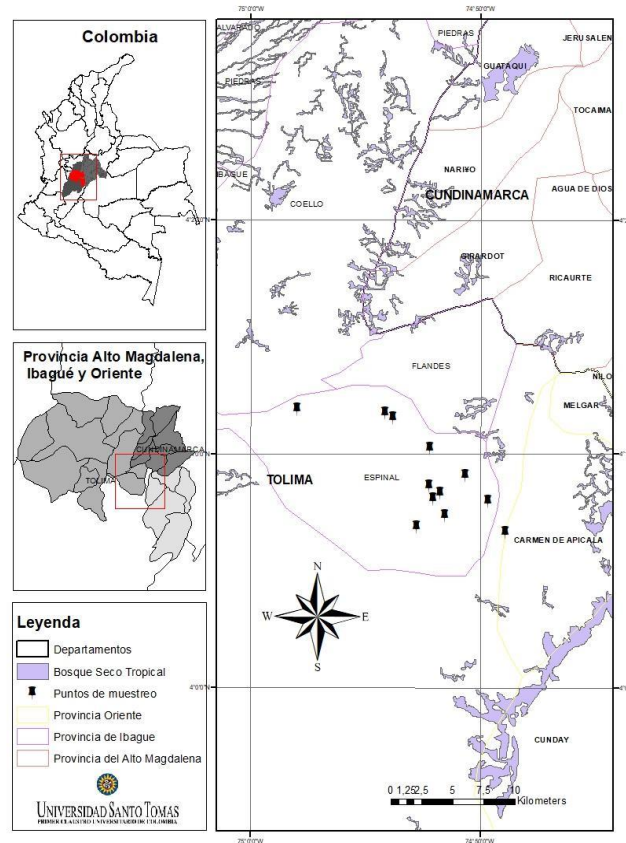
Se hizo un muestreo simple en 12 parcelas de El Espinal **Figura 3**, el muestreo se hizo en zigzag a través de cada parcela, con 6 agujeros en las mismas, y así con la ayuda de herramientas de muestreo como pala y barrena, se tomaron 20 cm de profundidad en el suelo **Tabla 3**, posterior a esto se mezclaron las muestras de cada agujero por parcela, luego se depositaron en bolsas de cierre hermético, para su posterior secado y almacenamiento en el laboratorio, muestras disturbadas.

Tabla 3. Cifras orientativas para profundidades de muestreo

Cultivo	Suelo	Subsuelo
Praderas	0 - 10 cm	Ninguno
Herbáceos, frutales y viña en no cultivo	0 - 20 cm	20 - 40 cm
Frutales y viña labrados	0 - 30 cm	30 - 50 cm

Fuente: Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. 3ª ed. -(Andrades & Martínez, 2014).

Figura 3. Ubicación de recolección de 12 muestras en el Espinal.



Fuente: autores

2. Análisis de antecedentes

En el proceso de realización de este trabajo, se llevaron a cabo varias etapas para lograr la evaluación del estado actual de los suelos y las técnicas de recuperación. Se inició con una revisión sistemática acerca de las áreas de estudio, una revisión topográfica, las condiciones climáticas y características del municipio.

Análisis de las muestras

Las variables evaluadas para las muestras de suelo fueron capacidad de retención de agua (WHC), materia orgánica (MO) de acuerdo con los métodos estándar (CEN, 2007). El porcentaje de nitrógeno en el suelo se evaluó por el método Kjeldahl, el cual fue calculado usando **Eq. 1** (EPA, 1978).

$$\%NTK = \frac{(\text{ácido valorante}(ml)) * N \text{ del ácido} * 1.4007}{\text{peso de la muestra (gr)}} \quad (1)$$

El suelo se mezcló con agua desionizada en una proporción de peso de 1:20. Además, se determinaron el contenido de materia orgánica (MO) secando las muestras a 105 ± 5 °C en un horno y calcinando a 550 ± 10 °C en una mufla, según 2540B APHA SM (American Public Health Association, 2017), y así mismo para WHC se dejó la muestra húmeda por 24 h, se secaron las muestras a 105°C /24hrs y se determinó el peso de agua perdida con la **Eq. 2** (Chen & Hoff, 2012).

$$gH_2O / g \text{ muestra} = \frac{P_{mta} - P_{seco}}{(P_{seco} - P_{vaso})} \quad (2)$$

Revisión bibliográfica

Al tener clara esta información, se pudo tener una mejor serie de filtros para la búsqueda de la revisión bibliográfica, detallando el tipo de ecosistema, los suelos predominantes en BST, los cambios generados en el suelo por la degradación de las actividades antropogénicas y naturales, los parámetros físico-químicos anteriormente mencionados, ya que se realiza un análisis y estudio de las condiciones de los suelos en ecosistemas de Bosque Seco tropical (BST), continuando con una búsqueda sistemática en diferentes revistas científicas como Scopus, Web Science, Scielo, entre otras, destacando las mejores técnicas de recuperación a partir de trabajos ya elaborados y filtrando de manera detallada los artículos que más se acercan a las condiciones del presente trabajo (suelos del bosque seco tropical, impactos de actividades antropogénicas, enmiendas aplicadas a suelos, biochar, compost), aplicando un algoritmo en dichas búsquedas para lograr filtrar la información en palabras claves como: (RECOVERY AND SOIL AND BIOCHAR AND COMPOST)

Técnicas de recuperación y pruebas en macetas

En este caso las técnicas escogidas son el compostaje y el biochar, con el fin de realizar los ensayos en macetas con muestras obtenidas de un estudio posterior de la universidad de Cundinamarca del Espinal y Girardot. Para estudiar el efecto de las enmiendas sobre la producción de biomasa se realizaron varios ensayos de incubación a los suelos con alto índice

de degradación que consistieron en un tratamiento control (sin enmienda), un tratamiento con enmiendas orgánicas y un tratamiento con biochar, aplicando 100 g en cada maceta tanto del abono como del biochar. Para esto se prepararon un total de 21 macetas con la tierra sobrante en las fibras de cada parcela de suelo seleccionado del muestreo inicial para la disposición en las macetas, y se sembraron en ellas *Brachiaria Decumbens*, que es una planta autóctona forrajera de tipo C4 (Méndez & Castro, 2020). Gracias a ello, se hizo un poco más exacta la investigación para terminar con la evaluación del suelo y las técnicas de recuperación, definiendo los estándares de resultados con trabajos elaborados en revistas científicas, entidades acordes a la investigación (IGAC), y los entes gubernamentales, por medio de estudios de suelos.

Biochar

El biochar que se eligió fue un biochar de origen vegetal de madera producido a partir de madera de álamo ya que tiene capacidades de retención de agua, nutrientes y fijación de C atmosférico relativamente altas, pero sin apenas efecto fertilizante sobre el suelo, este fue producido en un reactor de lecho fijo con un tiempo de residencia de 30 minutos y una temperatura de pirólisis de 520 °C, con un pH de 12,0. El Biochar producido tiene la capacidad de restaurar el equilibrio natural del suelo y mejorar el rendimiento de los cultivos mediante una mejor retención de agua y nutrientes, lo que conlleva una mayor tolerancia a la sequía y un mayor rendimiento en la producción de cultivos por el aumento de la fertilidad del suelo.

Compost

El proceso de las materias primas para el compostaje inició con la recolección de estiércol de pollo de dos años en una granja avícola ubicada en Nemocón, Colombia, llamada Agroincas S. A. S. Los materiales lignocelulósicos eran residuos de poda, cáscara de arroz y bagazo de caña de azúcar. El tamaño de partícula de los materiales se seleccionó mediante un paso de cribado para obtener partículas entre 2 y 25 mm para evitar problemas de compactación durante el compostaje. En ese caso, los residuos de poda los cortaron para reducir el tamaño de partícula. Cada material lignocelulósico fue mezclado en una relación de volumen 1:1 con el estiércol para

obtener tres mezclas diferentes: cáscara de arroz + estiércol (CA); residuos de poda + estiércol (CP); y bagazo de caña + estiércol (CB). El sistema de compostaje constaba de tres reactores; cada reactor consistía en un barril de 210L con un revestimiento térmico tridimensional de fibra de vidrio de poliestireno. La corriente de aire se distribuyó por el fondo de los barriles a una velocidad de 1 m/s; se utilizó un compresor de aire de 150 libras. Aproximadamente 60 L de las mezclas se añadieron a cada reactor. El proceso de compostaje tuvo una duración de 3 meses con monitoreo diario de temperatura, humedad y flujo de aire de salida para verificar problemas de compactación. El contenido de humedad se fijó en 50% cada semana y las mezclas se alternaron mensualmente para asegurar un suministro adecuado de oxígeno, acelerar la volatilización del amoníaco y promover la producción de ácidos orgánicos.

3. Análisis estadístico

El análisis de los datos fue hecho de forma numérica en el software R con las variables MO, NTK, WHC, con el fin de determinar las variables que influyen de manera significativa en el análisis. El diagnóstico a priori se hizo a partir de métodos gráficos como los histogramas de cada variable para determinar la distribución de los datos, adicionando la curva de normalidad correspondiente, se incluyen también los boxplot para verificar la distribución a lo largo de cada histograma, luego de esto se hizo la prueba univariada de Shapiro-Wilk, que se usa para validar la normalidad de los datos, esta prueba dice que si $p\text{-value} < 0.05$ no hay normalidad en los datos (Jureckova & Picek, 2007). Encontrando que los datos no tienen una distribución normal, excepto WHC.

Al ver que no hay normalidad se hizo el test de Bartlett, que se utiliza para determinar si las varianzas entre varios grupos son iguales o no. Muchas pruebas estadísticas asumen que las varianzas son iguales en todas las muestras (Sutradhar, 1996). La prueba de Bartlett se puede utilizar para verificar esa suposición, si $p\text{-value} < 0.05$ "no hay homogeneidad de varianzas, esto con más de 95% de confianza, encontrando que los datos no tienen homogeneidad, excepto WHC.

El análisis de la varianza (ANOVA) es una técnica estadística paramétrica para analizar la variación de una variable de respuesta donde la falta de normalidad no es un problema severo, pues el ANOVA es robusta a la falta de normalidad, solo que para esta prueba se tomó WHC que es la variable que tiene normalidad y homogeneidad (Monleon-Getino, 2016). Ya que las variables de NTK y MO no tienen homogeneidad ni normalidad se hizo la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis la cual analiza si hay una diferencia en los valores medios de tres o más muestras independientes (Nahm, 2016), en este caso los resultados arrojaron que para NTK el p-value es mayor a 0.05 lo cual indica que las diferencias entre las medianas no son estadísticamente significativas y para MO el p-value es menor a 0.05, es decir, las diferencias entre algunas de las medianas son estadísticamente significativas (Minitab, s. f.) Cuanto más pequeño es el valor de p, más fiable es el resultado del estudio (Molina, 2017).

A partir de lo obtenido de los métodos estadísticos se realizó la prueba t-test para la variable WHC, los métodos paramétricos se refieren a una técnica estadística en la que se define la distribución de probabilidad de las variables de probabilidad y se hacen inferencias sobre los parámetros de la distribución; las pruebas T son un tipo de método paramétrico; pueden utilizarse cuando las muestras satisfacen las condiciones de normalidad (Kim, 2015). Adicional se realizó la prueba no paramétrica test de Wilcoxon Mann Whitney, esto para corroborar los resultados obtenidos y tener un reporte más detallado, clasificando los suelos para diferenciarlos y poder hacer el análisis de la siguiente manera MC: muestra de control con 9 réplicas, PC: Proceso de degradación con 18 réplicas, D: Degradado con 9 réplicas, para un total de 36 datos, estas clasificaciones en función del índice de vegetación. Los métodos no paramétricos son aquellos en los que no existen supuestos sobre la distribución de los parámetros de la población. Este test puede utilizarse cuando las muestras no satisfacen las condiciones de normalidad (McElduff et al., 2010). Encontrando que los datos de NTK y MO no tienen una distribución normal fue posible realizar la matriz de correlación de spearman, el coeficiente de correlación de spearman varía entre 1 a -1, donde un coeficiente negativo alto indica una fuerte correlación inversa, es

decir, una variable crece, la otra decrece o viceversa y un coeficiente alto positivo indica que las variables aumentan o disminuyen simultáneamente (Martínez Ortega et al., 2009).

Finalmente, con el fin de hacer la comparación de los dos tipos de suelo para ver las diferencias significativas entre los parámetros, se tomaron los promedios para tener la misma cantidad de observaciones para el análisis (**Tabla 8, Tabla 9**), realizando la prueba paramétrica del T-Test para las variables WHC, y la prueba no paramétrica test de Wilcoxon para las variables MO y NTK.

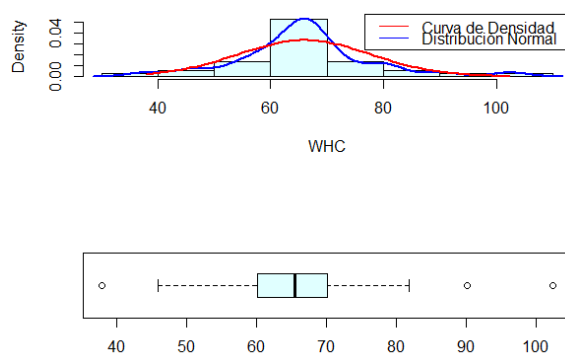
II. Resultados y discusión

1. Resultados parte experimental

Análisis estadístico

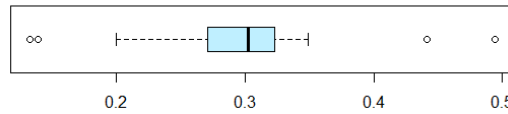
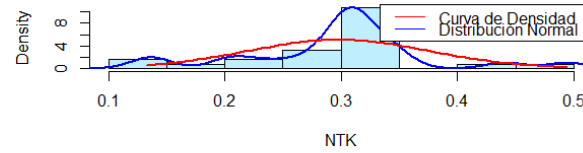
Para la primera parte de este análisis, se tomaron todos los datos que arrojó el laboratorio, es decir sin necesidad de hacer promedios, esto para que se diera un campo más amplio de datos. En las **Figuras 4, 5 y 6** se muestran los histogramas con su respectivo boxplot esto para determinar la distribución de los datos, en los gráficos de WHC se puede ver una distribución normal, comparada con los de NTK y MO, en los 3 casos no hay muchos datos atípicos en los boxplots por lo que se puede asumir que esos datos no cuentan como representativos.

Figura 4. Histograma y Boxplot WHC



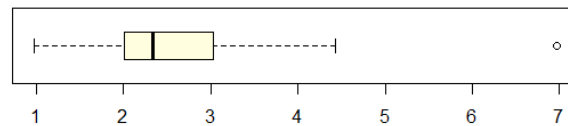
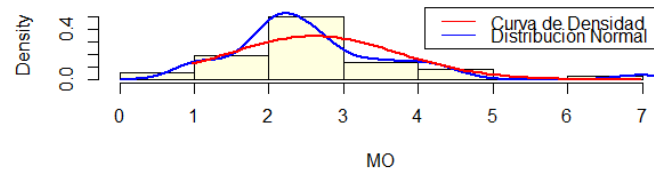
Fuente: Autores

Figura 5. Histograma y Boxplot NTK



Fuente: Autores

Figura 6. Histograma y Boxplot MO



Fuente: Autores

Tabla 4. Resultados de normalidad y homogeneidad

	<i>p-value</i>	
	Shapiro-Wilk	Bartlett
MO	0.00078	0.0022
NTK	0.038	0.00408
WHC	0.084	0.286

Fuente: Autores, programa R.

Como se observa en la **Tabla 4** los resultados de la prueba de Shapiro-Wilk de NTK y MO indican que hay un 95% de confianza de que los datos no tienen una distribución normal, ya que el único valor normal sería WHC. Al ver que no hay normalidad se realizó el test de Bartlett, que sirve para determinar la homogeneidad de varianza, el cual indica que hay un 95% de confianza de que los datos no tienen homogeneidad, ya que los datos de WHC tienen homogeneidad, pero MO y NTK no.

Como la variable de WHC tiene normalidad y homogeneidad se le hizo a esta el método estadístico de ANOVA como se observa en la **Tabla 5**. Comparando los resultados de los histogramas con las pruebas de Shapiro y kruskal, confirma que los datos de WHC tienen normalidad y los de NTK y MO no tienen normalidad.

Seguido a eso se hizo el método de Kruskal-Wallis para las variables MO y NTK donde el p-value de NTK >0.05 lo cual indica que no hay diferencias significativas y el p-value de MO <0.05 , es decir, hay diferencias significativas.

Tabla 5. Resultados de p-value para ANOVA y Kruskal Wallis

	<i>p-value</i>	
	KRUSKAL-WALLIS	ANOVA
WHC	-	0.0515 ^a
NTK	0.588 ^a	-
MO	0.0001164 ^{ab}	-

Fuente: Autores, programa R.

Cuanto más pequeño es el valor de p, más fiable es el resultado del estudio. Para el análisis no paramétrico se eligió el test de Wilcoxon Mann Whitney, lo que se buscó fue ver las diferencias significativas en el proceso de degradación de suelos (MC, PD, D), si $p\text{-value} < 0.05$ se puede decir que hay diferencia significativa con más de 95% de confianza, entonces lo que se quería ver es si había diferencia entre cada variable (WHC, MO, NTK) con respecto a los 3 tipos de suelo clasificados anteriormente. Para el NTK no hay diferencias significativas en los tres casos, ya que el $p\text{-value} > 0.05$, y para la MO no hay diferencias entre el D vs MC, ya que en los otros el $p\text{-value} < 0.05$ así que en esos si existen diferencias significativas. En el caso de PD vs D las diferencias se pueden deber a un uso específico del suelo que conlleve a la pérdida de MO, para el PD vs MC las diferencias existen ya que la muestra de control es un suelo "sano" comparado al que está en proceso de degradación, así que se debe tener un buen control en caso de que estos suelos necesiten recuperación.

Tabla 6. Resultados Test Wilcoxon Mann Whitney

NTK	MO
------------	-----------

	MC	PD		MC	PD
PD	1 ^a	-	PD	0.00383 ^{ab}	-
D	1 ^a	1 ^a	D	0.07701 ^a	0.00018 ^{ab}

Fuente: Autores, programa R.

El análisis paramétrico T-test se hizo únicamente para la variable WHC ya que esta cumple con normalidad y homogeneidad, donde se encontraron diferencias significativas entre PD vs D, esto debido a que en el suelo degradado la capacidad de retención de agua disminuye, MC vs PD es muy cercano a 0.05 pero es mayor así que no hay diferencias en este ni en MC vs D.

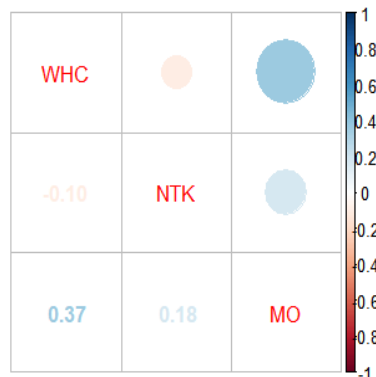
Tabla 7. Resultados T-Test para WHC

WHC		
	MC	PD
PD	0.0595 ^a	-
D	0.083 ^a	0.016 ^{ab}

Fuente: Autores, programa R

Los resultados de la correlación de Spearman arrojaron que para NTK-WHC hay una correlación muy baja de -0.10, es decir que, si se afecta uno, no afecta significativamente al otro, pero entre WHC y MO es la mayor correlación que hay, claramente no es tan fuerte porque los valores van de -1 a 1, pero es la mayor correlación que hay, igual con el NTK y MO, es una correlación baja de 0.18, pero no se ven tan afectados los valores entre sí, es decir, los parámetros analizados son independientes.

Figura 7. Resultado correlación de Spearman



Fuente: Autores

Para la segunda parte que fue la comparación de suelos si se tomaron los promedios de estos **Tabla 8, Tabla 9.**

Tabla 8. Caracterización Suelo 1 (promedios)

Tipo	WHC (%)	N Kjeldahl (%)	%MO
MC	67,46	0,21	2,17
PD	69,85	0,19	3,29
D	56,57	0,20	1,64

Fuente: Autores

Tabla 9. Caracterización Suelo 2 (promedios)

Tipo	WHC (%)	N Kjeldahl (%)	%MO
MC	48,2	0.044	2,7
PD	29,5	0.105	0,8
D	46,7	0.034	0,9

Fuente: Autores

Con el test de Wilcoxon se vieron las diferencias significativas entre suelos ya que, si $p\text{-value} < 0.05$ se puede decir que hay diferencias significativas con más de 95% de confianza, pero ni en NTK ni en MO hay diferencias significativas ya que $p\text{-value} > 0.05$.

NTK1 and NTK2 MO1 and MO2

$p\text{-value} = 0.1$ $p\text{-value} = 0.4$

Para el caso del WHC al cual se le realizó el T-Test, el $p\text{-value} = 0.03963$, es decir, es menor a 0.05 así que en esta variable hay diferencias significativas de un suelo a otro, ya que las muestras fueron tomadas de distintas fincas, y el suelo 2 tiene menor capacidad de retención que el suelo 1.

Compost y biochar aplicado

A continuación, se muestran tanto la caracterización de suelos **Tabla 7** como de compost y biochar **Tabla 8** en la que se encuentran los valores promediados con la desviación (Méndez & Castro, 2020).

Tabla 10. Caracterización suelos.

Muestra	pH (5g suelos / 25 mL agua destilada)	WHC (%)	%C Orgánico	%MO	CE (µs/cm) (5 g suelos/25 mL agua destilada)	N Kjeldahl (%)
<i>Muestra de control</i>	7,1	48,2	1,6	2,7	65,9	0.044
<i>Proceso de degradación</i>	7,2	29,5	0,5	0,8	71,7	0.105
<i>Degradado</i>	7,0	46,7	0,5	0,9	79,3	0.034

Fuente: Autores (Méndez & Castro, 2020).

Tabla 11. Datos de la caracterización de enmiendas de estudio en Girardot y Espinal.

Nombre	%Hum	%STp bh	%SV	%MO	%C	%NTK
Compost	25,2752 ± 0,060	74,7248 ±0,060	5,313 ±0,003	7,1101 ±0,011	4,1242 ±0,006	0,4896±0,033
Biochar	50,1177 ± 0,68	49,8823 ±0,68	18,3643± 0,338	36,8231 ±1,035	21,3591 ±0,600	0,7089±0,047

Fuente: Autores (Méndez & Castro, 2020).

De acuerdo con la caracterización del biochar se observa que frente al compost tiene algunas características especiales, que le confieren contener un mayor porcentaje de humedad frente al compost, esto debido en gran medida a que el biochar contiene mayor área superficial, lo que permite retener la humedad mucho más fácil que otros compuestos. Se evidenció que el promedio de humedad del compost está por un 25% aproximadamente; mientras que el biochar duplica esta cifra al sobrepasar el 50%. Así mismo el biochar presenta una gran ventaja frente al compost referente a la Materia Orgánica y Carbón Orgánico contenido, aunque también cabe destacar

que, al provenir de materiales como carbón vegetal, hojas o madera, estos le permiten concentrar altos contenidos de materia y carbón orgánico.

Figura 8. Macetas.



Fuente: Autores (Méndez & Castro, 2020).

Se realizó un seguimiento de los suelos con las enmiendas en unas macetas donde las condiciones ambientales eran las mismas **Figura 8**, en estas macetas se hizo una siembra con *Brachiaria decumbens* que fue escogida porque tiene características más favorables para crecer en ambientes con alta temperatura y luminosidad (Chacra, 2014).

Tabla 12. Resultados del crecimiento de la biomasa en macetas

Material vegetal	Poda 1 (gr)
PD A100B0	10.7199
PD A0B100	7.0277
D A100B0	9.4352
D A0B100	8.5027

Fuente: Autores (Méndez & Castro, 2020).

En la **Tabla 12** se puede observar que se realizó una poda a los 4 meses, donde el crecimiento con adición de 100g de compost es mayor al de biochar, para el suelo en proceso de degradación, e igualmente el crecimiento con adicción de 100g para suelos degradados es mayor al biochar, las diferencias en los gramos de biomasa generada no son muchos así que, se pueden usar ambos y se van a obtener resultados semejantes. Cabe destacar que los abonos orgánicos pueden prevenir, controlar e influir en la severidad de patógenos del suelo, sirviendo como fertilizantes y mejoradores de este presentando una amplia variación de efectos que dependen del material aplicado y de su grado de descomposición (Ramos Agüero & Terry Alfonso, 2014),

en cuanto a los aumentos de biomasa del biochar se dan gracias a que al ser un producto rico en carbono permite la descomposición térmica de la materia orgánica mejorando su productividad, todo esto debido a que los abonos incrementan la actividad y cantidad de biomasa microbiana del suelo.

(Cooper et al., 2020) en su estudio sobre el efecto del biochar y del compost sobre las propiedades del suelo y la materia orgánica, donde tienen valores de WHC y pH similares hablan de que las propiedades aumentaron significativamente en la superficie del suelo por seis años, solamente hicieron una aplicación de enmiendas en los ensayos que hicieron y en las aplicaciones más bajas no siempre les arrojaron efectos significativos del tratamiento en esos seis años, por eso sugieren que se requieren tasas de aplicación más frecuentes o más altas para ver los beneficios de las enmiendas. Así mismo un estudio en Touro, noroeste de España soporta estos resultados donde se llevó a cabo una comparación de los efectos del compost versus el compost y el biochar en la recuperación del suelo de una mina al mejorar el contenido de nutrientes, donde los tratamientos aplicados incrementaron la cantidad de nutrientes en el suelo del estanque de decantación. Pero el tratamiento a base de compost + biochar + *B. juncea* fue lo más efectivo con el aumento del pH con el tiempo y las profundidades. El carbono total se incrementó en el suelo del estanque de sedimentación después de aplicar los tratamientos (Forján et al., 2017). Hablando específicamente de las propiedades del biochar, para sostener lo dicho (Semida et al., 2019) sostiene que hay muchas variaciones y pueden tener diversos efectos sobre el crecimiento de los cultivos, la producción y las propiedades del suelo, demostrando que muchos de los efectos son beneficiosos, es decir, aumentos de crecimiento y rendimiento, adsorción de metales pesados, capacidad de retención de agua y respuestas fisiológicas de las plantas, adicional a esto (Grutzmacher et al., 2018) estudiaron la estabilidad del carbono y el potencial de mitigación del N₂O, demostrando que los biochars obtenidos mediante pirólisis a baja temperatura (400°C) representaron un potencial insumo para el secuestro de C, ya que, en relación con la materia prima original, una mayor cantidad de C añadido puede almacenarse en el medio del suelo a través del tiempo. Sin embargo, hay que prestarle atención a la tasa de

adición del biochar que tiene un gran impacto en el crecimiento y el rendimiento de estos, pero esto varía según el sistema de cultivo y el cultivo.

Análisis de las 12 parcelas

Normalmente los valores de los parámetros físicos son constantes, mientras que en los parámetros químicos los elementos nutritivos son muy variables, por lo que se realizaron de a 3 repeticiones de cada análisis.

A continuación, en la **Tabla 13** se muestran los resultados de la caracterización que se realizó para las 12 muestras de suelo en el Espinal, permitiendo establecer un precedente de las condiciones que tiene el suelo seleccionado en esta región.

Tabla 13. Caracterización para las 12 muestras del suelo en el Espinal Tolima.

#Muestra	WHC (%)	NTK (%)	MO (%)	Textura
1	77,62 ±21,61	11,55 ±0,07	3,19 ±1,13	FAr
2	68,13 ±7,15	6,62 ±0,005	2,22 ±0,14	FAr
3	65,52 ±0,46	6,76 ±0,04	2,66 ±0,14	FAr
4	76,70 ±16,68	10,52 ±0,099	2,14 ±0,13	FAr
5	67,30 ±3,71	6,51 ±0,0009	2,16 ±0,18	FAr
6	71,64 ±7,42	5,98 ±0,02	2,58 ±0,17	FAr
7	62,44 ±7,28	4,21 ±0,03	5,05 ±1,66	FAr
8	63,44 ±9,07	6,07 ±0,03	1,76 ±0,13	FAr
9	58,14 ±2,16	6,00 ±0,01	1,69 ±0,42	FAr
10	68,70 ±5,63	6,18 ±0,005	3,19 ±0,54	FAr
11	68,11 ±9,99	7,86 ±0,06	3,54 ±0,46	FAr
12	43,44 ±4,85	7,96 ±0,08	1,00 ±0,04	FAr

Fuente: Autores

Ya que los suelos están moderadamente bien drenados el (Guzmán et al., 2004) soporta que la capacidad de retención de agua (WHC) de la mayoría de las muestras supere el 50%, así que se puede decir que la vegetación que esté presente en esos suelos tendrá una mayor cantidad de agua disponible, lo que explica que el contenido de MO de las muestras para clima cálido se encuentre entre bajo y medio **Tabla 14**, y sólo 4 muestras en alto. Adicional las condiciones de pH que se encontraron en los suelos trabajados fue un valor de 6.5 que según la **Tabla 15** es un suelo ligeramente ácido, estos son suelos que presentan condiciones casi óptimas para la nutrición de la mayoría de las plantas.

Tabla 14. Niveles críticos para el contenido de materia orgánica del suelo, en diferentes condiciones climáticas, para Colombia.

CLIMA	CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA (%) PARA NIVEL		
	BAJO	MEDIO	ALTO
Cálido	< 2	2 - 3	> 3
Medio	< 3	3 - 5	> 5
Frio	< 5	5 - 10	> 10

Fuente:(Jaramillo J., 2002).

Tabla 15. Interpretación pH.

pH DETERMINADO EN AGUA 1:1	
VALOR	CALIFICACIÓN *
< 3.5	Ultra ácido
3.5 - 4.4	Extremadamente ácido
4.5 - 5.0	Muy fuertemente ácido
5.1 - 5.5	Fuertemente ácido
5.6 - 6.0	Moderadamente ácido
6.1 - 6.5	Ligeramente ácido
6.6 - 7.3	Neutro
7.4 - 7.8	Ligeramente alcalino
7.9 - 8.4	Moderadamente alcalino
8.5 - 9.0	Fuertemente alcalino
> 9.0	Muy fuertemente alcalino

Fuente: (Jaramillo J., 2002).

El nitrógeno es uno de los parámetros que normalmente limitan el crecimiento óptimo de un cultivo. El nitrógeno presente en suelos cultivables procede de materiales diversos: restos de cultivos, abonos verdes, estiércol, fertilizantes comerciales y nitratos aportados por lluvias, así como por la fijación de N atmosférico por ciertos microorganismos. La mayoría de las muestras según la **Tabla 16** tienen el %NTK muy alto, ya que la muestra que tiene menor porcentaje de nitrógeno total es la 7 con 4,21%.

Tabla 16. Interpretación nitrógeno total

Clase	Nitrógeno total %
Muy bajo	< 0.05
Bajo	0.05 - 0.10
Medio	0.10 - 0.15
Alto	0.15 - 0.25
Muy alto	> 0.25

Fuente: (Secretaría de medio ambiente, 2002).

Todos estos factores favorecen el desarrollo de una buena estructura, mejorando la aireación del suelo y la capacidad de retención de agua, así mismo lo protege frente a la erosión y aumenta la capacidad total de cambio⁴ favoreciendo una buena reserva de elementos nutritivos (Andrades & Martínez, 2014).

En Melbourne (Somerville et al., 2020) evaluaron si la incorporación de Biochar en suelos urbanos proporcionaba mayores beneficios al suelo que las combinaciones de desechos verdes municipales y Biochar, y si surgía algún cambio en el crecimiento de especies, en donde el contenido de MO (3.41%), pH (7.42) y el suelo era FAr, concluyeron que la rehabilitación intensiva del suelo puede mejorar las propiedades de este y así mismo mejorar el crecimiento de las especies presentes. Sin embargo, el biochar o la combinación de biochar y desechos, no proporcionaron mejoras de las ya logradas con el compost de desechos verdes municipales, estos son datos similares a los de este estudio, por lo que si en algún momento estos suelos llegan a estado de degradación se puede usar el compost o el biochar como enmienda para su recuperación, y se tendría una idea de los resultados que puede arrojar un estudio posterior del área de estudio. Así mismo el compost y el biochar no se pueden usar únicamente para recuperación del suelo, también son usados para reemplazar sustratos, como lo hicieron (Álvarez et al., 2018) que estudiaron el reemplazo de sustratos a base de turba ampliamente utilizados, pero con una sostenibilidad cuestionable en la producción de plantas ornamentales en

⁴ Se llama capacidad total de cambio CTC a la cantidad máxima de cationes intercambiables que pueda retener un suelo

contenedores, usando vermicompost y biochar sin disminuir la calidad comercial de las planta, y así como estos, se le pueden dar muchos más usos a estas enmiendas. Ya que entre los suelos caracterizados de este estudio y los caracterizados por el estudio de la universidad de Cundinamarca no tienen diferencias significativas, puede decirse que en caso que los suelos de este estudio presenten algún tipo de degradación, puede aplicarse la dosis que se le aplico a los otros suelos y dará resultados similares, así que se podría hacer una proyección con respecto a esos resultados.

La producción de biochar puede ser mucho más costosa que el abono, y (Somerville et al., 2020) no recomiendan el uso de biochar para el proceso intensivo de rehabilitación de suelo urbano. Sin embargo, hay más objetivos para la rehabilitación del suelo no solo urbano, como el secuestro de carbono, en el que el biochar desempeña un papel importante. Y ya que el suelo es un recurso irrecuperable y de gran valor para la producción de alimentos es importante seguir investigando sobre alternativas para su recuperación, mientras el suelo se encuentre sin cobertura vegetal se verá más expuesto a la erosión ocasionada por el viento y la lluvia, y son los bosques principalmente los que protegen al suelo de esta forma.

III. Conclusiones

De las 12 muestras, la bibliografía consultada, y con los parámetros que se tienen se puede decir que no hay mayor degradación en estos, así que se podría hacer tratamiento con las enmiendas, sin embargo, por las condiciones del ecosistema, del clima, de las actividades agrícolas y demás, es necesario hacer seguimientos, ya que, la disminución de la fertilización inorgánica y su complementación mediante la incorporación de enmiendas puede generar un efecto positivo en la búsqueda del equilibrio productivo entre los elementos que componen el suelo. Las propiedades de los suelos varían naturalmente con el paso del tiempo por factores que determinan su formación como la precipitación, el material de origen, los organismos que lo habitan y la actividad antropogénica.

Con la capacidad de retención de agua (WHC)>50% y la materia orgánica MO (1,69-5,05%) de las 12 muestras, se puede decir que la vegetación que esté presente en esos suelos tendrá una mayor cantidad de agua disponible sumándole una nutrición al suelo y cultivos, para el desarrollo biológico de las plantas, sin embargo, el porcentaje de Nitrógeno es bastante alto lo cual puede indicar que haya un desarrollo descontrolado de la planta haciendo que sea vulnerable a plagas y enfermedades

Para trabajos futuros se pueden considerar otras variables como pH, %C, Mg, K, Na, P, entre otros, con el fin de poder realizar un análisis multivariado y determinar otras posibles relaciones entre variables, para así dar un reporte del estado del suelo más acertado.

IV. Agradecimientos

Al equipo CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas) y al grupo del IRNAS-CSICEI, el Dr. Iván Orlando Cabeza Rojas de la Universidad de la Sabana y la Dra. Paola Andrea Acevedo Pabón de la Universidad Santo Tomas (USTA), Programa de Ingeniería Ambiental, Bogotá, Colombia. Grupo INAM-USTA categorizado ante Colciencias en A1, al equipo de la Universidad de Cundinamarca (UdeC), Programa de Ingeniería Ambiental, Seccional Girardot, Colombia. Grupo Udecino de Investigación Ambiental (GUIA), categorizado ante Colciencias en C.

Por último, a los estudiantes María José Cartagena Méndez, Juan José Castro Aguirre de la facultad de ingeniería ambiental de la Universidad de Cundinamarca, por sus aportes en su trabajo de grado.

V. Referencias

Álvarez Hincapié, C. F., Alvarez-Davila, E., Ajiaco, R. E., Buitrago, L., Ortiz Gallego, R., Gonzalez, M., Herrera-R, G. A., Laverde-R., O., Maldonado-Ocampo, J. A., Plata, C., Rosselli, L., Sanjuan, T., & Uribe. (2019). *Evaluación nacional de biodiversidad y servicios ecosistémicos. Instituto Alexander von Humboldt.*

- Álvarez, J. M., Pasian, C., Lal, R., López, R., Díaz, M. J., & Fernández, M. (2018). Morpho-physiological plant quality when biochar and vermicompost are used as growing media replacement in urban horticulture. *Urban Forestry & Urban Greening*, 34, 175-180.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.06.021>
- American Public Health Association. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, [1000]-[1000].
- Andrades, M., & Martínez, M. E. (2014). *FERTILIDAD DEL SUELO Y PARÁMETROS QUE LA DEFINEN*. <https://publicaciones.unirioja.es/catalogo/monografias/mdaa03.shtml>
- Benítez, A., Blanco-Torres, A., Cabrera, M., Calderón-Acevedo, C., Castaño-Naranjo, A., Castro-Lima, F., Corzo, G., Cuadros, H., de Luna, G., Devia, W., Díaz-Pulido, A., Etter, A., Forero, F., Galvis, G., García-Martínez, H., Gómez-Ruiz, D. A., Gómez, J. P., Gómez-Martínez, M., González, F. A., ... Vergara-Valera, H. (2014). *El bosque seco tropical en Colombia*. <http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/9333>
- CEN. (2007). *Soil improvers and growing media—Sample preparation for chemical and physical tests, determination of dry matter content, moisture content and laboratory compacted bulk density* | *Engineering360*.
<https://standards.globalspec.com/std/1089138/EN%2013040>
- Chacra. (2014). *Forrajerías conocer para manejar*. *revistachacra*.
<https://www.revistachacra.com.ar/nota/971-conocer-para-manejar/>
- Chen, L., & Hoff, S. J. (2012). (PDF) *A Two-Stage Wood Chip-Based Biofilter System to Mitigate Odors from a Deep-Pit Swine Building*.
https://www.researchgate.net/publication/275514881_A_Two-Stage_Wood_Chip-Based_Biofilter_System_to_Mitigate_Odors_from_a_Deep-Pit_Swine_Building
- Cooper, J., Greenberg, I., Ludwig, B., Hippich, L., Fischer, D., Glaser, B., & Kaiser, M. (2020). Effect of biochar and compost on soil properties and organic matter in aggregate size

- fractions under field conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 295, 106882.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106882>
- Cortolima. (2005). *Fisiografía y Suelos*. yumpu.com.
<https://www.yumpu.com/es/document/read/34885699/f-25-fisiografia-y-suelos-cortolima>
- Domínguez, R., León, M., Samaniego, J., & Sunkel, O. (2019). *Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad: 70 años de pensamiento de la CEPAL*. UN.
<https://doi.org/10.18356/b89f0453-es>
- EPA. (1978). *Method 351.1: Nitrogen, Kjeldahl, Total (Colorimetric, Automated Phenate) by Autoanalyzer*. 8.
- FAO. (2011). *Degradación/restoración | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/es/>
- FAO. (2015). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2015 | FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*.
<https://www.fao.org/publications/sofa/2015/es/>
- Forján, R., Rodríguez-Vila, A., Cerqueira, B., & Covelo, E. F. (2017). Comparison of the effects of compost versus compost and biochar on the recovery of a mine soil by improving the nutrient content. *Journal of Geochemical Exploration*, 183, 46-57.
<https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.09.013>
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: Una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125-138.
- Grutzmacher, P., Puga, A. P., Bibar, M. P. S., Coscione, A. R., Packer, A. P., & de Andrade, C. A. (2018). Carbon stability and mitigation of fertilizer induced N₂O emissions in soil amended with biochar. *Science of The Total Environment*, 625, 1459-1466.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.196>
- Guzmán, I. D. G., Arango, O. M. L., Reinoso, C. C., Rodríguez, H., & Echavarría, J. A. U. (2004). *INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI*. 358.

IDEAM. (2000). *El medio ambiente en Colombia*. 70.

Instituto humboldt. (2019). *Bosques secos tropicales en Colombia*.

<http://www.humboldt.org.co/es/component/k2/item/158-bosques-secos-tropicales-en->

Jaramillo J., D. F. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*.

Jureckova, J., & Picek, J. (2007). Shapiro–Wilk-type test of normality under nuisance regression and scale. *Computational Statistics & Data Analysis*, 51, 5184-5191.

<https://doi.org/10.1016/j.csda.2006.08.026>

Kim, T. K. (2015). *T test as a parametric statistic—PMC*.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4667138/>

Lucas, E. G. (2013). *Estrategias para la recuperación de suelos degradados en ambientes semiáridos: Adición de dosis elevadas de residuos orgánicos de origen urbano y su implicación en la fijación de carbono*. [Http://purl.org/dc/dcmitype/Text, Universidad de Murcia]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=96727>

Martínez Ortega, R. M., Tuya Pendás, L. C., Martínez Ortega, M., Pérez Abreu, A., & Cánovas, A. M. (2009). EL COEFICIENTE DE CORRELACION DE LOS RANGOS DE SPEARMAN CARACTERIZACION. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8(2), 0-0.

McElduff, F., Cortina-Borja, M., Chan, S.-K., & Wade, A. (2010). When t-tests or Wilcoxon-Mann-Whitney tests won't do. *Advances in Physiology Education*, 34(3), 128-133. <https://doi.org/10.1152/advan.00017.2010>

Méndez, M. J. C., & Castro, J. J. (2020). *EL BIOCHAR COMO ENMIENDA PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE SUELOS EN ECOSISTEMAS DE BOSQUES SECO TROPICAL, MUNICIPIOS DE GIRARDOT (CUNDINAMARCA) Y ESPINAL (TOLIMA)*. 108.

Minambiente. (2014). Bosque Seco Tropical. *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. <https://www.minambiente.gov.co/direccion-de-bosques-biodiversidad-y-servicios-ecosistemicos/bosque-seco-tropical/>

Minitab. (s. f.). *Interpretar los resultados clave para Prueba de Kruskal-Wallis* [Mtbconcept].

Recuperado 6 de julio de 2022, de <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/nonparametrics/how-to/kruskal-wallis-test/interpret-the-results/key-results/>

Molina, M. (2017). *¿Qué significa realmente el valor de p?* <http://pap.es/articulo/12589/que-significa-realmente-el-valor-de-p>

Monleon-Getino, A. (2016). *Diseño de experimentos, su análisis y diagnóstico*.

<https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5029.3369>

Nahm, F. S. (2016). Nonparametric statistical tests for the continuous data: The basic concept and the practical use. *Korean Journal of Anesthesiology*, 69(1), 8-14.

<https://doi.org/10.4097/kjae.2016.69.1.8>

Ramos Agüero, D., & Terry Alfonso, E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos:

Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. *Cultivos Tropicales*, 35(4), 52-59.

Secretaria de medio ambiente. (2002). *NORMA Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis*. 73.

Semida, W. M., Beheiry, H. R., Sétamou, M., Simpson, C. R., Abd El-Mageed, T. A., Rady, M.

M., & Nelson, S. D. (2019). Biochar implications for sustainable agriculture and environment: A review. *South African Journal of Botany*, 127, 333-347.

<https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.11.015>

Somerville, P. D., Farrell, C., May, P. B., & Livesley, S. J. (2020). Biochar and compost equally improve urban soil physical and biological properties and tree growth, with no added benefit in combination. *Science of The Total Environment*, 706, 135736.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135736>

Sutradhar, B. C. (1996). Score Test versus Bartlett Type Modified Test for Testing Homogeneity of Variances with Autocorrelated Errors. *Sankhyā: The Indian Journal of Statistics, Series B (1960-2002)*, 58(1), 10-27.

Tamayo salas, J. carlos. (2020). *PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL 2020—2023*.

<https://www.elespinal-tolima.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionControl/PDM-2020-2023.pdf>

Zinck, A. (2005). *Suelos, información y sociedad*. 17.