

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO AMBIENTAL**

TEMA:

EFFECTOS DEL BIOCARBÓN EN EL CRECIMIENTO DE
Ocotea quixos (Lam) KOSTERM Y *Myroxylon balsamum* (L.)
HARSM, EN ÁREAS DE RESTAURACIÓN.

AUTORA:

YURY MILENA RODRIGUEZ MORA

DIRECTOR:

Msc. PEDRO DAMIÁN RÍOS GUAYASAMÍN

PUYO – ECUADOR

2019

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quien suscribe, Rodriguez Mora Yury Milena portadora de la cédula de identidad N° 2100572441, hago constar que soy la autora del proyecto de investigación con el título “EFECTOS DEL BIOCARBÓN EN EL CRECIMIENTO DE *Ocotea quixos* (Lam) KOSTERM Y *Myroxylon balsamum* (L.) HARSM, EN ÁREAS DE RESTAURACIÓN” el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del asesor de dicho trabajo, MSc. Pedro Damián Ríos Guayasamín en tal sentido, se manifiesta la originalidad de la conceptualización del trabajo, interpretación de datos y la elaboración de conclusiones, dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo, a la vez cedo los derechos a la Universidad Estatal Amazónica que pueda realizar publicaciones sobre la misma así como su almacenamiento tanto en medio físico y electrónico.

Rodriguez Mora Yury Milena

2100572441

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Por medio del presente, Yo, Pedro Damián Ríos Guayasamín, con número de cédula 1716132590 certifico que el egresado Rodriguez Mora Yury Milena realizó el Proyecto de Investigación y Desarrollo titulado “EFECTOS DEL BIOCARBÓN EN EL CRECIMIENTO DE *Ocotea quixos* (Lam) KOSTERM Y *Myroxylon balsamum* (L.) HARSM, EN ÁREAS DE RESTAURACIÓN”, previo a la obtención del título de Ingeniera Ambiental bajo mi supervisión.

MSc. Pedro Damián Ríos Guayasamín
1716132590

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El proyecto de investigación y desarrollo, titulado: “**EFFECTOS DEL BIOCARBÓN EN EL CRECIMIENTO DE *Ocotea quixos* (Lam) KOSTERM Y *Myroxylon balsamum* (L.) HARSM, EN ÁREAS DE RESTAURACIÓN**”, fue aprobado por los siguientes miembros del tribunal.

Para constancia firman:

Dr. García Yudel
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

M.Sc. Jalca Ivonne
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Dr. Arteaga Yasiel
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

Primeramente agradezco a Dios por brindarme una vida llena de emociones y entusiasmo, como segundo a mis padres por brindarme todo ese apoyo incondicional y haberme formado como a una persona de bien con valores, especialmente a mi madre por ser ese pilar fundamental en esta etapa de mi vida, impulsándome cada día a sobresalir, enseñándome a romper barreras y pequeños obstáculos que siempre se presentan en la vida, ayudándome a cumplir con este gran sueño y éxito que es la carrera universitaria sin dar un paso atrás. Gracias por sus consejos Familia.

A la Universidad Estatal Amazónica por haber aceptado ser parte de la Institución y abierto las puertas durante 5 años de educación, docentes y distinguidos con quienes he compartido momentos únicos.

Y un profundo agradecimiento a mi tutor de proyecto de grado Ms. Pedro Ríos por su asesoramiento, predisposición, principalmente en el progreso y culminación de este gran proyecto. A mis compañeros María Quiguiri, Dina Robalino, Thony Huera y Joffre Chela por su apoyo moral y compartir durante este trayecto de investigación.

YURY MELO DAZA

DEDICATORIA

Dedico este pequeño proyecto a mi familia quienes me apoyaron en todo momento y formaron parte de este trayecto universitario.

A mis padres Arnulfo Melo y Socorro Daza por todos sus sacrificios, esfuerzos sobre todo paciencia para terminar con mi carrera, quienes no me cuestionaron en cada paso que he dado en esta etapa, a mis hermanas Erika y Fanny Rodriguez por estar siempre a mi lado apoyándome en todas mis pequeñas travesías. Y a mí tía Lucy Botina por enseñarme que la vida se la vive con sencillez, humildad y que de pequeñas cosas se sacan grandes éxitos con dedicación, que sin importar la barrera que se oponga siempre hay que luchar para cumplir con nuestros sueños.

YURY MELO DAZA

RESUMEN

La presente investigación es evaluar los efectos del biocarbón en el crecimiento de *Ocotea quixos* (canela amazónica) y *Myroxylon balsamum* (bálsamo), en áreas de restauración en el Centro de Investigación Posgrado y Conservación de la Biodiversidad Amazónica (CIPCA), para medir y observar el crecimiento de las dos especies después del año de implementación del biocarbón (2017 al 2018), para ello se utilizó las variables ecológicas: área basal, altura y número de hojas en parcelas permanentes. Los resultados obtenidos que presentaron significancia fue en la interacción de Tratamientos con biocarbón en el año 2017 en cuanto al año 2018 presentó significancia solo en los Tratamientos, con mayor incremento en el área basal fue *Myroxylon balsamum* con biocarbón tradicional (T2B2) con 7,27 cm², en el mayor crecimiento fue *Myroxylon balsamum* sin biocarbón (T2C) con 65,56 cm y en el incremento de número de hojas fue *Ocotea .quixos* con biocarbón manufacturado (T1B1) con 487,58.

Palabras claves: Biocarbón, Crecimiento, *Myroxylon balsamum*, *Ocotea quixos*, Restauración ecológica

ABSTRACT

The present research is to evaluate the effects of biochar on the growth of *Ocotea quixos* (Amazonian cinnamon) and *Myroxylon balsamum* (balsam), in restoration areas at the Center for Post-Graduate Research and Conservation of Amazonian Biodiversity (CIPCA), to measure and observe the growth of the two species after the year of implementation of biochar (2017 to 2018), using ecological variables: basal area, height and number of leaves in permanent plots. The results obtained that presented significance was in the interaction of Treatments with biochar in the year 2017 and in the year 2018 presented significance only in the Treatments, with greater increase in the basal area was *Myroxylon balsamum* with traditional biochar (T2B2) with 7.27 cm², in the greater growth was *Myroxylon balsamum* without biochar (T2C) with 65.56 cm and in the increase in the number of leaves was *Ocotea quixos* with manufactured biochar (T1B1) with 487.58.

Keywords: Biochar, Growth, *Myroxylon balsamum*, *Ocotea quixos*, Ecological restoration

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y SU JUSTIFICACIÓN.....	3
1.2.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.3. OBJETIVOS.....	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	5
2.1. ANTECEDENTES.....	5
2.2. CONCEPTOS BÁSICOS.....	6
a) BOSQUE TROPICAL.....	6
b) SISTEMA SILVICULTURAL.....	6
c) ENMIENDAS DE SUELO.....	6
d) TIPOS DE ENMIENDAS DE SUELO.....	7
e) BIOCARBÓN.....	7
2.3. RESTAURACIÓN ECOLÓGICA.....	8
2.4. ESTRATEGIAS DE RESTAURACIÓN.....	9
2.5. CLASIFICACIÓN DE ESPECIES DE ACUERDO A SU ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN.....	10
2.6. <i>Myroxylon balsamum</i> , BÁLSAMO (L.) HARSM.	10
2.7. <i>Ocotea quixos</i> , CANELA AMAZÓNICA (LAM.) KOSTERM.....	11
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	12
3.1. LOCALIZACIÓN.....	12
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	13
3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	13
3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	13

3.4.1.	TRABAJO DE CAMPO	15
3.5.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	15
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		16
4.1.	EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO	16
4.1.1.	ÁREA BASAL (cm ²)	16
4.1.2.	ALTURA (cm)	20
4.1.3.	NÚMERO DE HOJAS	24
CAPÍTULO V		28
5.1.	CONCLUSIONES	28
5.2.	RECOMENDACIONES	29
CAPÍTULO VI		30
6.1.	BIBLIOGRAFÍA	30
6.2.	ANEXOS	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. (Izq.) Documentos publicados por año del uso de Biocarbón en los procesos de restauración ecológica y (Der.) Documentos publicados por fuente.....	8
Figura 2. Ubicación del área de estudio y localización de las parcelas permanentes.	12
Figura 3. Diseño de bloques de la parcela alta, con sus tratamientos en el CIPCA.	14
Figura 4. Diseño de bloques de la parcela baja, con sus tratamientos en el CIPCA.	14
Figura 5. Gráfico de barras datos agrupados - Diferencias de incremento en el área basal de los Tratamientos.....	16
Figura 6. Gráfico de barras datos agrupados - Diferencias de incremento en la Altura de los Tratamientos.	20
Figura 7. Gráfico de barras datos agrupados - Diferencias de incremento en el Número de Hojas de los Tratamientos.	24

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas de las parcelas permanentes.....	12
Tabla 2. Tipos de biocarbón en las parcelas permanentes.....	13
Tabla 3. Tipos de tratamientos en las parcelas permanentes	13
Tabla 4. Prueba ANOVA a dos vías para el Área Basal	17
Tabla 5. Prueba de Tukey para el área basal de los Tratamientos.....	18
Tabla 6. Prueba de Tukey del biocarbón y efecto en el área basal.....	19
Tabla 7. Valores de Incremento del área basal de los Tratamientos	19
Tabla 8. Prueba ANOVA a dos vías para la altura en las plantaciones con la implementación del biocarbón	21
Tabla 9. Prueba de Tukey para la altura de los Tratamientos.....	22
Tabla 10. Prueba de Tukey para la altura con el Biocarbón.....	22
Tabla 11. Valores de Incremento de la altura en los Tratamientos	23
Tabla 12. Prueba ANOVA a dos vías para el número de hojas.....	25
Tabla 13. Prueba de Tukey para el número de hojas en los Tratamientos (Tipos de plantación).....	25
Tabla 14. Prueba de Tukey para el número de hojas con el biocarbón	26
Tabla 15. Valores de Incremento en el número de hojas en los Tratamientos	27

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

En Ecuador las especies nativas juegan un papel importante en la ecología ambiental, como parte fundamental de la biodiversidad se ve afectada principalmente por la pérdida de extensas áreas boscosas, a consecuencia de la tala y quema de bosque, erosión de suelos, contaminación de acuíferos y algunos métodos de explotación agropecuaria; que causan un estado crítico en la estructura forestal y fertilidad del suelo (Aguilar y Iza, 2008).

Estudios realizados en los últimos años (2010-2015) indican que la región amazónica ecuatoriana ha perdido el 1,1% de sus bosques según Borja *et al.* (2017), lo que implica una reducción de la deforestación al comparar con lo establecido por Sierra (2013), que en los años (2000-2008) se perdió el 2,8% de la superficie forestal, donde se pierden muchas especies de valor ecológico y comercial como: *Myroxylon balsamum*, bálsamo (Fabaceae) Harms; *Ocotea quixos*, canela amazónica (Lauraceae) Kosterm, entre otras (Dezzeo, 2018).

Burbano (2016) manifiesta que los suelos y la biodiversidad asociada a los humanos han arrebatado de la naturaleza un trabajo que se tasa en millones de años, recursos que hoy en día satisfacen las demandas de la sociedad a través de la agricultura. Por lo tanto hay que introducir cambios en el comportamiento de las personas que las lleve a respetar el suelo, sus componentes y la vida que habita en él (Feller *et al.*, 2015). El mal manejo de los sistemas productivos origina la transformación de la superficie terrestre que se puede apreciar en las chacras, haciendas y fincas tradicionales de producción (Leigh *et al.*, 2004; Pitman, *et al.*, 2001).

Las actividades humanas han causado el deterioro acelerado de los ecosistemas amazónicos, por lo tanto las poblaciones se han visto en la necesidad de poner en práctica sistemas alternativos de manejo y control de los ecosistemas forestales, como por ejemplo: los sistemas silviculturales, agroforestales, agro-silvo-pastoriles, huertos caseros mixtos, entre otros, a través de la “Gestión de la fertilidad del suelo con enmiendas de biocarbón vegetal “biocarbón” en plantaciones forestales” (Valarezo *et al.*, 2017).

El biocarbón como método alternativo ha sido promovido como una enmienda para recuperar suelos degradados, elevar la productividad agroforestal, silvicultural y agro-silvo-pastoriles (Spokas, 2010). Al aplicar biocarbón sobre el suelo se mejora las propiedades y la fertilidad del mismo, que propicia un adecuado crecimiento y desarrollo de las especies, mejorando la productividad de cultivos y a la vez actuando como reservorio de larga duración de este elemento (Valarezo *et al.*, 2017; Escalante *et al.*, 2016). En este contexto la presente investigación pretende “Evaluar el crecimiento de *O. quixos* (canela amazónica) y *M. balsamum* (bálsamo) con enmiendas de biocarbón en áreas de restauración”.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y SU JUSTIFICACIÓN

La deforestación es una actividad humana tan primitiva como la civilización misma, desde que se dio la agricultura, la gente ha reemplazado la vegetación nativa con cultivos y espacios para vivir (Mena, 2010). Las poblaciones rurales son usualmente empobrecidas por un recurso natural base, que va en declive por su continua explotación, eso lleva a degradar nuevas áreas y se induce en un ciclo de explotación-degradación-pobreza (Anda-Basabe *et al.*, 2017). Además, la conversión extensiva de bosques a pasturas, actividades agrícolas y actividades petroleras, entre otras, han provocado la pérdida de muchas especies nativas de la región amazónica entre ellas: *O. quixos* y *M. balsamum*. Según Martínez (2015), estas actividades también producen un desequilibrio en el suelo, dando como consecuencia la pérdida de calidad, biodiversidad, retención de agua y alteración en el crecimiento de las plantas.

Actualmente hay diferentes maneras para tratar un suelo degradado tal como es el estiércol animal que en efecto aumenta la materia orgánica (M.O) en el suelo, pero a su vez incrementa la salinidad, mientras que los compost y vermicompost mantienen el equilibrio iónico del suelo, entre otros (Abril *et al.*, 2014). El uso de biocarbón es una alternativa más efectiva que otro tipo de materia orgánica para enmendar el suelo, ya que ayuda a retener los nutrientes, haciéndolos más disponibles para las plantas, ayudando a mejorar la fertilidad y la productividad del suelo y al crecimiento de las plantas, sobre todo en aquellos que poseen un pH ácido (Olmo, 2016).

Ríos-Guayasamín (2013a) manifiesta que una de las alternativas de restauración que se implantó en el Centro de Investigación Posgrado y Conservación de la Biodiversidad Amazónica (CIPCA) son los Sistemas silvícolas-industriales, al obtener el recurso fitogenético de dos tipos de especies (*O. quixos* y *M. balsamum*) provenientes de la Estación biológica Jatun Sacha. Por ello se ha visto la necesidad de buscar alternativas que permitan restaurar sus características naturales y evitar la reducción de poblaciones de estas especies en el CIPCA, con la adición de enmiendas como el biocarbón que favorece las condiciones nutricionales del suelo y conjuntamente el crecimiento y desarrollo de estas especies propias de la zona.

1.2.1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo incide el biocarbón en el crecimiento de las especies *O. quixos* y *M. balsamum* en el CIPCA?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar los efectos del biocarbón en el crecimiento de *Ocotea quixos* (canela amazónica) y *Myroxylon balsamum* (bálsamo), en áreas de restauración.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar el crecimiento de *O. quixos* y *M. balsamum* a 16 meses de implementación del biocarbón
- Identificar la efectividad del uso de biocarbón como estrategias en los procesos de restauración ecológica asistida

CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ANTECEDENTES

La Amazonía alberga la mayor extensión de bosque tropical que hay en el planeta (FAO, 2018), cabe recalcar que los suelos amazónicos son pobres en nutrientes, dentro del mismo existe un 17% del bosque que ha sido intervenido y alterado. El país es responsable del 1,75% de la Amazonía, por ello se crearon estrategias de conservación y restauración de suelos, para equilibrar la conservación de la biodiversidad con los medios de vida y así garantizar un planeta factible y sostenible (WWF, 2016).

El establecimiento de las parcelas (Alta y Baja) fueron ubicadas en el CIPCA, bajo el proyecto “Los sistemas silvícolas–industriales como un aporte multifuncional a la economía verde en la producción amazónica (SSIEV)”, que está a cargo del Msc. Pedro Damián Ríos Guayasamín, con el fin de generar una alternativa productiva que se enfoque a la economía verde, conservación y restauración, con especies provenientes de la Estación Biológica Jatun Sacha (*M. balsamum* y *O. quixos*). Los objetivos de la investigación fueron determinar la tasa de crecimiento de las dos especies, desde su trasplante hasta los doce meses de su implantación y cuantificar el almacenamiento de carbono.

Las dos especies presentaron un bajo crecimiento y desarrollo, debido al déficit de nutrición que tiene los suelos, por lo que se optó al uso del biocarbón como una técnica limpia y viable durante épocas, compatible con otros beneficios a gran escala, al igual que ocurre con otras técnicas más costosas de captura y secuestro de carbono, mejorando la calidad del suelo en la producción de cultivos (Boullosa, 2010).

2.2. CONCEPTOS BÁSICOS

a) BOSQUE TROPICAL

Un Bosque Tropical es el tipo de bosque que por causa a su ubicación presenta grandes precipitaciones, su humedad es relativamente alta en todo el año (MAE, 2017). En Ecuador, los bosques tropicales se encuentran distribuidos en la región Costa y en toda la región amazónica. Contienen especies que llegan a medir hasta 50 m. Asimismo, ofrecen múltiples beneficios como la regulación del ciclo de agua y el clima, producen oxígeno y absorben dióxido de carbono, controlan inundaciones, evitan la erosión, proveen alimentos y promueven la conservación de la biodiversidad, entre otros bienes y servicios ecosistémicos (MAE, 2018).

b) SISTEMA SILVICULTURAL

Se define como el método del entrenamiento de procedimientos silvícolas de acuerdo con los conjuntos aceptados y los principios silvícolas mediante los cuales los cultivos que constituyen bosques se cultivan y reemplazan por nuevos cultivos de formas distintivas o un tratamiento silvícola planificado que se aplica a Un cultivo forestal, a lo largo de toda su vida, para que asuma una forma distintiva (Dhubháin, 2018). A medida que los sistemas silvícolas se ocupan de la eliminación de un cultivo forestal, su reemplazo por un nuevo cultivo y forma distintiva y está tendiendo, tiene las siguientes características esenciales:

- El patrón de tala que se adoptará al cosechar un cultivo maduro para regenerarse.
- El método de regeneración a adoptar.
- El cuidado de nuevos cultivos.

c) ENMIENDAS DE SUELO

Son materiales que se agregan en el suelo para mejorar las propiedades físicas del mismo, debido a que el suelo es bajo en materia orgánica, necesario para la estructura, la retención de agua y la vida de su suelo. La materia orgánica incluye: compost, estiércol compostado, turba, fibra de coco, moho de las hojas y cualquier otro resto de plantas o animales o productos de desecho (Lannotti, 2018). Agregar una enmienda al suelo, también llamado acondicionador, ayuda a mejorar el crecimiento y el desarrollo de las plantas. El tipo de enmienda o enmiendas agregadas depende de la composición actual del suelo, el clima y el tipo de planta (Davis *et al.*, 2000).

d) TIPOS DE ENMIENDAS DE SUELO

Según Agroes (2018), las enmiendas comunes del suelo orgánico se enumeran a continuación:

- **Compost:** Se refiere a la materia orgánica descompuesta. No está regulado, por lo que no existe un estándar sobre el estado de descomposición, el compost es hecho únicamente a partir de productos de origen vegetal (como astillas de madera y desechos de jardín) tiene un bajo contenido de sales.
- **Cal y azufre:** se agregan a los suelos para regular el pH o la acidez, debido a que la cal hace que los suelos sean menos ácidos y el azufre los hace más ácidos. La cal se usa a menudo en el este, donde la lluvia de verano hace que el suelo sea ácido. El azufre se usa a menudo en el árido oeste, donde los suelos alcalinos son comunes.
- **Estiércol:** Si está fresco puede dañar las plantas debido a los niveles elevados de amoníaco. Para evitar este problema, utilizar únicamente estiércol viejo o compostado, se refiere al estiércol que se ha acumulado durante al menos seis meses. El amoníaco excesivo habrá escapado. Los niveles de sal pueden ser más altos a medida que las sales se concentran en el material de descomposición, o pueden lixiviarse con lluvia alta. Las semillas de malezas serán viable.
- **Tallos de tabaco** funcionan bien pero deben mantenerse separados de las plantas de la misma familia (tomates, papas, pimientos, nicotiana, etc.) para evitar problemas con el virus.
- **Paja:** enmienda y cobertura del suelo tradicional, debe complementarse con nitrógeno cuando se trabaja directamente en el suelo.
- **Biocarbón:** es una madera carbonizada que retiene los nutrientes en el suelo y los mantiene durante muchos años. Se ha utilizado desde la época de los incas y mayas de América Central y del Sur, y los suelos que mejoraron en ese momento aún son viables hasta el día de hoy.

e) BIOCARBÓN

Es el producto de la descomposición térmica de materiales orgánicos (biomasa) con escaso o limitado suministro de oxígeno (pirólisis), a temperaturas relativamente bajas (inferiores a los 700 °C) y que es destinado a uso agrícola, lo que hace que sea diferente al biocarbón usado como combustible y al biocarbón activado (Escalante Rebolledo *et al.*, 2016). Biocarbón es un término recientemente utilizado como una etiqueta para el carbón destinado

para su uso como enmienda de suelo, generalmente derivada de materias primas de desechos orgánicos como aserraderos o cultivos residuos, biocarbón ha recibido una atención sustancial como un medio para mejorar el secuestro de carbono en ecosistemas gestionados (Lehmann y Joseph 2009).

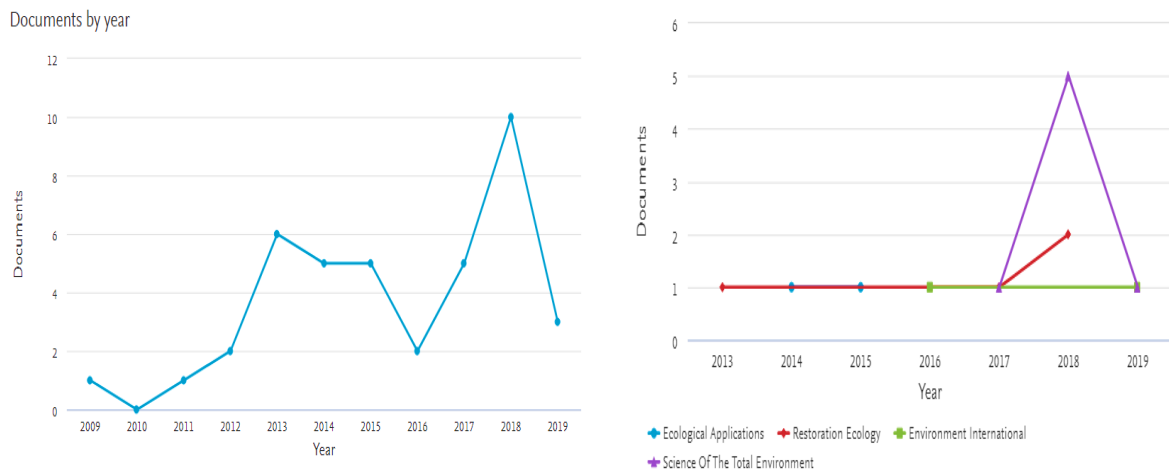


Figura 1. (Izq.) Documentos publicados por año del uso de Biocarbón en los procesos de restauración ecológica y (Der.) Documentos publicados por fuente

Fuente:Scopus (2019)

2.3. RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

A lo largo de la historia de las actividades de reposición de bosques, numerosos términos han sido usados para referirse a los procesos naturales y artificiales de reparación de daños ambientales en los ecosistemas de México y el mundo. En 1934, mucho antes de que el concepto de restauración ecológica fuera oficialmente planteado, Aldo Leopold, estableció la declaración ética de la tierra, que amplió el concepto de conservación para incluir la restauración ecológica y la utilizó como una parte de la enseñanza ambiental, planteando la relación de beneficio mutuo que podría venir de la restauración (Ceccon, 2014). Por su parte, Barrera-Cataño y Valdés-López (2007) considera a la “Restauración ecológica” como: “el proceso de asistir el recubrimiento de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido, teniendo como objetivo el restablecimiento de la función y la estructura de las áreas que han sido disturbadas, utilizando como referencia los ecosistemas pre disturbio”. Con base en información del Centro Internacional para la Investigación Forestal Internacional (CIFOR); la restauración forestal es una actividad deliberada (intencional) que

interrumpe los procesos responsables de la degradación, elimina las barreras bióticas y abióticas a la recuperación del ecosistema, e inicia o acelera la sucesión ecológica a través del establecimiento de propágulos de las especies de interés del ecosistema de referencia (Murcia y Guariguata, 2014).

Para determinar el área a restaurar hay que tener en cuenta algunos factores, tanto como naturales y sociales, de los cuales se definirán las estrategias para restaurar, de modo que serán diferentes para cada sitio dentro de un ecosistema; es decir, sectores muy cercanos unos de otros, podrían contar con una historia de transformación y de uso actual muy distintos, por ejemplo, áreas que han sido sometidas a la agricultura o pastoreo se puede restaurar con plantaciones forestales, con especies exóticas. Otro de los casos son las áreas que son difíciles de restaurar, las cuales no presentan parte del ecosistema original (Vargas, 2011).

2.4. ESTRATEGIAS DE RESTAURACIÓN

Márquez- Huitzil (2005), considera que las más importantes son:

- Rehabilitación: orientada al restablecimiento de la productividad y de algunas otras funciones ecológicas. A través del tiempo, la función de protección del bosque y los servicios ecológicos pueden ser restablecidos.
- Saneamiento o reclamación: Su objetivo es recobrar la productividad en un sitio degradado. Para ello, se utilizan principalmente árboles de especies exóticas, frecuentemente establecidos en monocultivos.
- Reemplazamiento vegetal: Es el proceso por el que se induce la formación de un ecosistema diferente al original, generalmente no se considera la condición natural histórica del sitio.
- Recubrimiento vegetal o revegetación: se logra fortaleciendo procesos como la sucesión vegetal, la productividad, la ecología del suelo, la incorporación de nutrientes, entre otros.

De esta manera, la restauración y la rehabilitación de bosques se llevan a cabo en lugares o en territorios en los que la pérdida de la cobertura vegetal ha provocado una disminución de la calidad de los servicios ecosistémicos. Su finalidad es fortalecer la resiliencia de zonas y paisajes forestales y, por lo tanto, mantener abiertas las futuras opciones de ordenación y gestión territorial (Vanegas, 2016).

2.5. CLASIFICACIÓN DE ESPECIES DE ACUERDO A SU ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN

Vanegas (2016), menciona que la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) ha clasificado a las especies de acuerdo a su origen y distribución, de la siguiente forma:

- Especie nativa: aquella que se encuentra dentro de su área de distribución natural, forma parte de las comunidades bióticas naturales del área.
- Especie endémica: aquella que se encuentra restringida a una región, el término endémico es relativo y siempre se usa con referencia a la región. Estas especies son frágiles ante las perturbaciones ya que su área entera de distribución puede ser alterada.
- Especie exótica: especie introducida fuera de su área de distribución original, muchas de las especies de plantas ornamentales y de animales domésticos son especies exóticas provenientes de otros continentes. Estas no tienen relaciones evolutivas con las especies con las que se encuentran en su nuevo territorio.
- Especie invasora: especie que por nuevas condiciones creadas en su ambiente aumenta su población y distribución geográfica, tienen gran capacidad de dispersión y colonización. Pueden ser especies nativas o exóticas que causan daños al ambiente, a la economía y a la salud humana.

Especie exótica invasora: su introducción o diseminación fuera de su distribución natural amenazan la diversidad biológica, ya que pueden ocasionar fuertes problemas transmitiendo enfermedades desconocidas, compitiendo o depredando a las especies nativas.

2.6. *Myroxylon balsamum*, BÁLSAMO (L.) HARSM.

Pertenece a la familia Fabaceae, se encuentra distribuido en América del sur, especialmente en Ecuador, se ubica en las provincias de Sucumbíos, Orellana, Pastaza y Morona Santiago (Dezseo, s.f). Es un árbol que alcanza hasta 30 m de altura y 1m de diámetro, tiene un tronco cilíndrico, recto, raíces tablares, corteza externa crema amarillenta y su corteza interna contiene una crema de olor fuerte, tiene inflorescencia en racimos axilares de 10 a 20 cm de largo, flores blancas, el fruto indehisciente alberga la semilla y resto es en forma de ala (Palacios, 2016). Según Gutiérrez y López (2005), contiene de 20% a 30% de material

resinoso y 64% de aceite esencial, que pueden utilizarse con fines industriales y cosméticos. Es de uso multipropósito y de gran interés agro-silvícola, ayuda a la recuperación de suelos (por ser una especie fijadora de nitrógeno), tolera suelos alcalinos e inundados temporalmente, competencia de maleza y ataque de insectos (UICN, 1997). Es una especie de lento crecimiento por eso es necesario producirla en bolsa con tierra y al ser trasplantada al campo es vital que se encuentre en mejores condiciones. Para ser manejado en un vivero debe estar en un periodo de 6 a 8 meses y con una altura promedio de 35 cm, durante su desarrollo inicial requiere de sombra (Dezzeo, s.f).

2.7. *Ocotea quixos*, CANELA AMAZÓNICA (LAM.)

KOSTERM.

Pertenece a la familia Lauraceae y se encuentra distribuida en Colombia y Ecuador, pariente de la canela y del laurel, cuando el árbol ha alcanzado su madurez a los seis años adquieren una altura promedio entre los 3 y 6 m (Noriega y Dacarro 2008). Según Palacios (2016), el árbol alcanza hasta 20 m de altura y 55 cm de DAP. Es una planta con hojas alternas la corteza interna de la rama es similar a la canela de oriente por sus características organolépticas, contiene un sabor a dulce picante y es utilizada como especia en la industria de alimentos, su aceite esencial es utilizado para fabricar jabón líquido y aceites para masajes debido a su exquisito aroma, el tiempo aproximado para el aprovechamiento de hojas y ramas es de 6 años y para la cosecha del cáliz es de 15 a 20 años (Fundación Chankuap, 2006). En Ecuador se la conoce con nombres vernáculos como canelón, ishpink o ishpingo, su hábitad es el bosque húmedo, encontrándose entre los 310 y 1250 msnm. Según Delgado (2008), es una especie que en el futuro llega a perder hasta un 50% de su área potencial actual. No existen datos del estado de conservación de *Ocotea quixos* para la Amazonia ecuatoriana, sin embargo para Colombia esta especie se encuentra en en peligro crítico, enfrenta un alto riesgo de extinción o deterioro poblacional en estado silvestre. (Instituto Amazónico De Investigaciones científicas SINCHI, 2006)

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. LOCALIZACIÓN

La presente investigación se realizó dentro de las parcelas permanentes (Alta y Baja) con cultivos de *O. quixos* y *M. balsamum* del proyecto “Sistemas Silvícolas Industriales como un aporte multifuncional a la Economía Verde en la Producción Amazónica (SSIEV)”, (Ríos-Guayasamín, 2014).) (Figura 2), ubicado en el CIPCA con coordenadas 1°14'19,7"S 77°53'11,6"O, Provincia de Napo, Cantón Carlos Julio Arosemena Tola, en el kilómetro 44 de la vía Puyo-Tena (CIPCA, 2013) , su altitud se encuentra entre los 580 y 990 msnm, la precipitación anual alcanza los 4000 mm, su humedad relativa es del 80% y la temperatura varía entre 15 a 25 °C (CIPCA, 2018), la parcela alta cuenta con un suelo orgánico y la parcela baja con un suelo aluvial (Tabla 1).

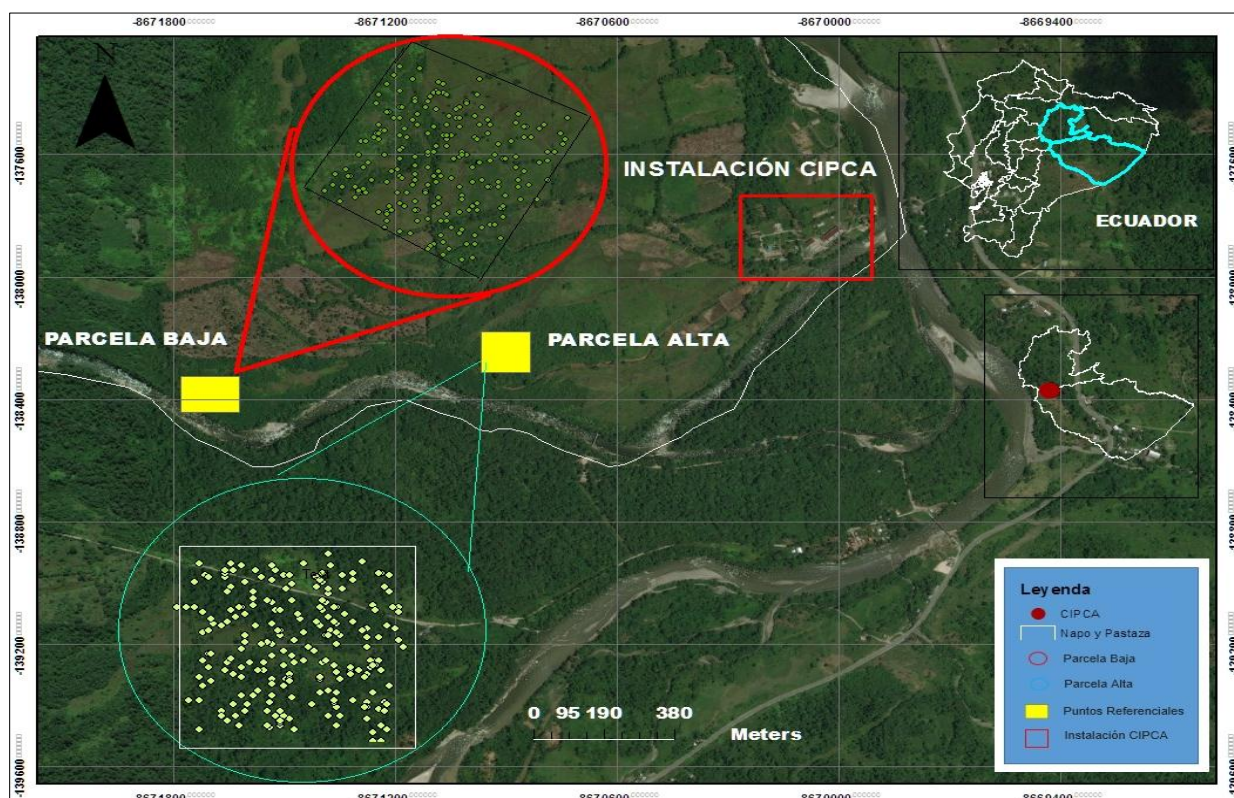


Figura 2. Ubicación del área de estudio y localización de las parcelas permanentes.

Tabla 1. Coordenadas de las parcelas permanentes

Parcela	Tipo de Suelo	X	Y	Altitud
Alta	Suelo orgánico	178129	9862568	568 msnm
Baja	Suelo aluvial	177328	9862425	578 msnm

Fuente: Ríos-Guayasamín (2013).

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El siguiente trabajo se enmarcó en dos tipos de investigación: **Descriptiva** porque puede servir de base para futuras investigaciones con un mayor nivel de profundidad y porque se orienta a la descripción de características de un objeto de estudio; **Experimental** porque obtiene su información de la actividad intencional realizada por el investigador.

3.3. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo utilizó el método de medición porque se va a evaluar el crecimiento y desarrollo de las especies *M. balsamum* y *O. quixos* con las variables: área basal, altura y el conteo de hojas.

3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL

La investigación se ejecutó entre julio de 2017 cuando se aplicó por primera vez el biocarbón y la toma de datos en campo la cual se llevó a cabo entre noviembre de 2017 y noviembre de 2018. La edad de las dos especies es de aproximadamente de 5 años. Se trabajó sobre dos parcelas permanentes alta y baja (Figura 3 y 4) con tres tratamientos experimentales de acuerdo a los tipos de planta T1: *O. quixos*; T2: *M. balsamum*; T3: Asocio de *O. quixos* y *M. balsamum* (Tabla 3), cada tratamiento tiene su respectiva enmienda con biocarbón manufacturado (B1), biocarbón tradicional (B2) y control (C) (Tabla 2). Las parcelas tienen un área de 100 m² con un total de 270 individuos de *O. quixos* y *M. balsamum* evaluados para las dos tipos de Tratamientos. En total se evaluaron 280 Individuos a los 4 meses de la aplicación del biocarbón y 270 individuos 16 meses después (2018).

Tabla 2. Tipos de biocarbón en las parcelas permanentes

Biocarbón	Nº individuos	Cantidad	Carbón	Madera	PH
B1	66	10 ton/ha	manufacturado	Pigue	10,17
B2	66		tradicional	(<i>Piptocoma discolor</i>)	8,8
C	138	0	sin biocarbón	N/A	0

Fuente: Autor (2018).

Tabla 3. Tipos de tratamientos en las parcelas permanentes

Tratamientos	Nº individuos	Especie
T1	88	<i>Ocotea quixos</i>
T2	94	<i>Myroxylon balsamum</i>
T3	88	Asocio de <i>O. quixos</i> y <i>M. balsamum</i>

Fuente: Autor (2018).

Representación gráfica de las parcelas permanentes con distintos tratamientos con y sin enmiendas de biocarbón.



T3			T1			T2		
o	x	o	o	o	o	x	x	x
x	o	x	o	o	o	x	x	x
o	x	o	o	o	o	x	x	x
x	o	x	o	o	o	x	x	x
o	x	o	o	o	o	x	x	x
T1			T2			T3		
o	o	o	x	x	x	o	x	o
o	o	o	x	x	x	x	o	x
o	o	o	x	x	x	o	x	o
o	o	o	x	x	x	x	o	x
o	o	o	x	x	x	o	x	o
T2			T3			T1		
x	x	x	o	x	o	o	o	o
x	x	x	x	o	x	o	o	o
x	x	x	o	x	o	o	o	o
x	x	x	x	o	x	o	o	o
x	x	x	x	o	x	o	o	o

Fuente: Proyecto SSIEV, 2013.

Figura 3. Diseño de bloques de la parcela alta, con sus tratamientos en el CIPCA.

T1 o = *O. quixos*; **T2 x** = *M. balsamum*; **T3 o;x** = asocio de *O. quixos* y *M. balsamum*. Suelo con biocarbón manufacturado  Suelo con biocarbón tradicional  Suelo sin enmienda 



T2			T1			T3		
x	x	x	o	o	o	o	x	o
x	x	x	o	o	o	x	o	x
x	x	x	o	o	o	o	x	x
x	x	x	o	o	o	x	o	x
x	x	x	o	o	o	o	x	o
T3			T2			T1		
o	x	o	x	x	x	o	o	o
x	o	x	x	x	x	o	o	o
o	x	o	x	x	x	o	o	o
x	o	x	x	x	x	o	o	o
o	x	o	x	x	x	o	o	o
T1			T3			T2		
o	o	o	o	x	x	x	x	x
o	o	o	x	o	x	x	x	x
o	o	o	o	x	o	x	x	x
o	o	o	x	o	x	x	x	x
o	o	o	o	x	o	x	x	x

Fuente: Proyecto SSIEV, 2013.

Figura 4. Diseño de bloques de la parcela baja, con sus tratamientos en el CIPCA.

T1 o = *O. quixos*; **T2 x** = *M. balsamum*; **T3 ox** = asocio de *O. quixos* y *M. balsamum*. Suelo con biocarbón manufacturado  Suelo con biocarbón tradicional  Suelo sin enmienda 

3.4.1. TRABAJO DE CAMPO

A los 16 meses de implementación del biocarbón, se colectó datos para cada una de las variables de los Tratamientos en estudio a excepto de 27 plantas que por malas condiciones se marchitaron o se secaron (Ríos-Guayasamín. P, 2014).

- Altura de la Planta

Se procedió a medir desde el suelo hasta el ápice más alto de la copa con la ayuda de una cinta métrica, la unidad se dio en centímetros (cm).

- Número de hojas

Se realizó el conteo de hojas en los distintos tratamientos; T1 (*O. quixos*) T2 (*M. balsamum*) T3 (asocio de *O. quixos* y *M. balsamum*), tomando en cuenta que la hojas tenga más del 75% o a su vez que estén totalmente abiertas.

- Área basal (5 cm)

Con la ayuda de una cinta métrica se tomó la medida de la circunferencia basal del tallo desde el suelo a la altura de 5 cm del tallo de la planta, su unidad se dio en centímetros al cuadrado

Fórmula:

$$g = (\pi/4) * d^2$$

$$C = (\pi * d)$$

En donde:

g= área basal

C= circunferencia basal

$\pi = 3.1416$

$\pi = 3.1416$

d²= diámetro

d= diámetro

$$g = C^2 / 4 \pi \quad (1)$$

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizaron diagramas de barras para datos agrupados en el software estadístico SPSS versión 25.0 para las tres variables explicativas en la evaluación de crecimiento y el efecto del biocarbón. Finalmente se realizó tablas ANOVAS a dos vías para comparación de medias para muestras independientes y prueba de Tukey para comparaciones múltiples (DSH- Diferencias honestamente significativas de Tukey)

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO

4.1.1. ÁREA BASAL (cm²)

En la figura 5 se puede observar gráficamente que en el año 2017, el área basal del monocultivo de *O. quixos* con biocarbón manufacturado (T1B1) está más desarrollada; el monocultivo de *M. balsamum* con biocarbón tradicional (T2B2) es el que presenta el mayor valor, y el cultivo en asocio de las dos especies mantiene una relativa equidad en área basal tanto para los tratamientos con biocarbón, como para el control. Para el año 2018 T1 responde mejor a B1 en comparación con B2 y C. En T2 el B2 muestra los mejores resultados, mientras el tratamiento en asocio (T3) comienza a evidenciar cambios para B1 y C.

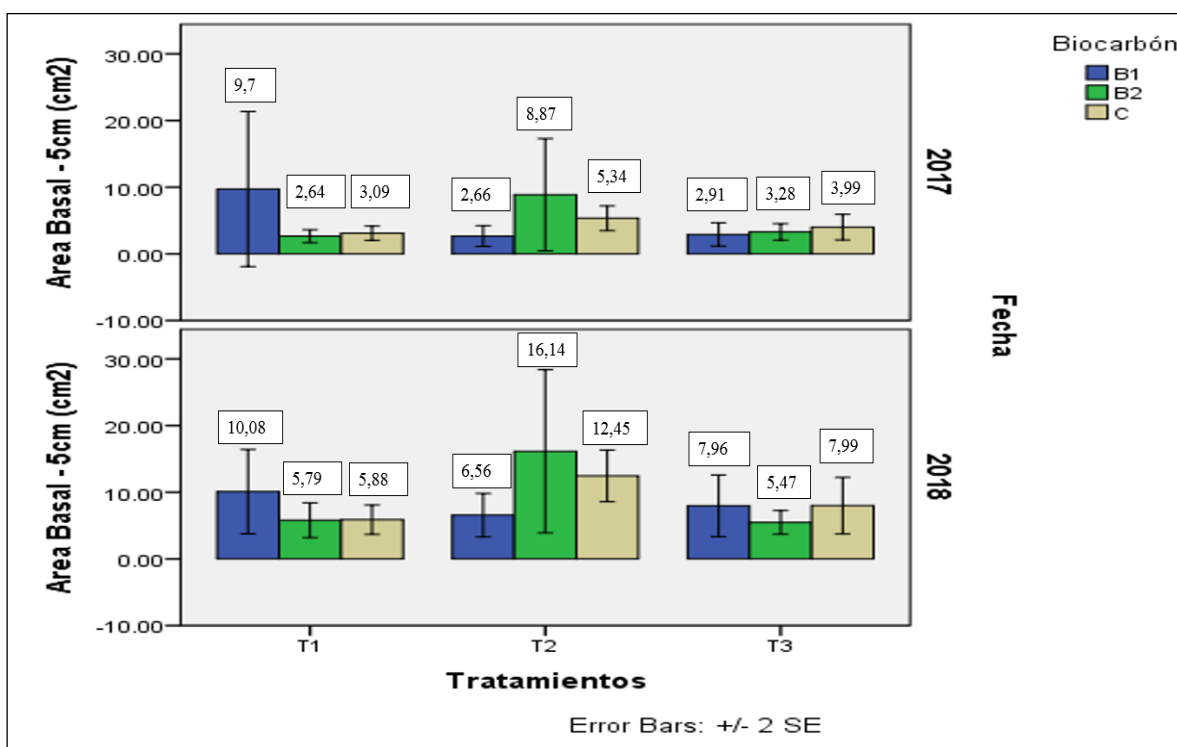


Figura 5. Gráfico de barras datos agrupados - Diferencias de incremento en el área basal de los Tratamientos.

T1: *Ocotea quixos*; **T2:** *Myroxylon balsamum*; **T3:** asocio de *O. quixos* y *M. balsamum*; **B1:** biocarbón manufacturado, **B2:** biocarbón tradicional y **C:** control.

En la Tabla 4 se puede observar que a los cuatro meses de aplicación del biocarbón (2017) y con un 95% de confianza se rechaza la H_0 , se asume que al menos una de las medias entre interacción de los tratamientos (Tipo de plantación) y B1B2C (Tipo de biocarbón) son diferentes y al menos una de sus medias influye significativamente en cuanto al aumento del área basal de los individuos.

Las variaciones del área basal pueden ser demostradas por la alta capacidad de secuestro de carbono por parte del Biocarbón, varios estudios en sistemas agroforestales y sometidos a procesos de restauración demuestran la correlación entre el aumento del diámetro basal y número de tallos. Varela M. *et al.*, (2013) demuestran el aumento de los diámetros basales y tamaño de raíces en plantaciones experimentales de espinaca. En ensayos con sustratos sólidos, y en suelos con diferentes tratamientos, la adición de Biocarbón mejora el crecimiento y almacenamiento de biomasa en los tallos, sobre todo para suelos ácidos, incluso en dosis altas. (Gilces - Reyna, 2014).

A los 16 meses de evaluación (2018) y con un nivel de significancia del 95% ($\text{Sig} > 0,05$) se acepta la H_0 , es decir el factor biocarbón (B1B2C), y la interacción entre este y el tratamiento no tiene efectos significativos en el aumento del área basal de *M. balsamum* y *O. quixos*, esto debido a que los promedios de cada nivel en los tratamientos son iguales. Existen estudios (Lehmann *et al.*, 2003) donde se demuestra que además del efecto sobre los rendimientos en sistemas agroforestales, también reduce la lixiviación de nutrientes (Major, 2018), sin embargo los efectos influenciados en la parcela experimental por efectos de la pendiente en los abanicos aluviales se correlacionan con la pérdida de las propiedades físicas y químicas del biocarbón en el suelo por arrastre de nutrientes.

Tabla 4. Prueba ANOVA a dos vías para Área Basal

Fecha		Gl	Suma de cuadrados	pr(>f)	Significancia
2017	Tratamiento	2	114,900	,922	,399
	B1B2C	2	27,113	,218	,805
	Tratamiento * B1B2C	4	309,524	2,483	,044
2018	Tratamiento	2	554,686	2,999	,052
	B1B2C	2	14,785	,080	,923
	Tratamiento * B1B2C	4	364,177	1,969	,100

Para el año 2017, a los 4 meses después de la aplicación del biocarbón, a un nivel de confianza del 95% se acepta la H_0 (Sig.>0,05), es decir ningún factor relacionado con el tipo de plantación tuvo efectos significativos en el incremento del área basal de las plantaciones. No se puede correlacionar estas variables ya que cada especie tiene características morfofisiológicas diferentes respecto a su crecimiento (Tabla 5).

Las medias del área basal para los tratamientos (tipo de planta) son similares 16 meses después de la toma de datos en campo (2018) a un nivel de confianza del 95%, las medias del tratamiento T1 que corresponde a *O. quixos* son parecidas y no existe diferencia significativa, mientras que el tratamiento T2 *M. balsamum* y T3 asocio de *M. balsamum* y *O. quixos* presenta diferencias estadísticamente significativas respecto a sus medias, es decir que el tipo de plantación difiere en cuanto al Área basal, sin embargo Los p-valor son mayores a 0,05, por lo tanto se acepta la H_0 y descartamos el efecto del tipo de plantación sobre el aumento del área basal de la plantación al ser muestras independientes y presentar distintas características de crecimiento, a pesar de tener edades de plantación similares.

Tabla 5. Prueba de Tukey para el área basal de los Tratamientos

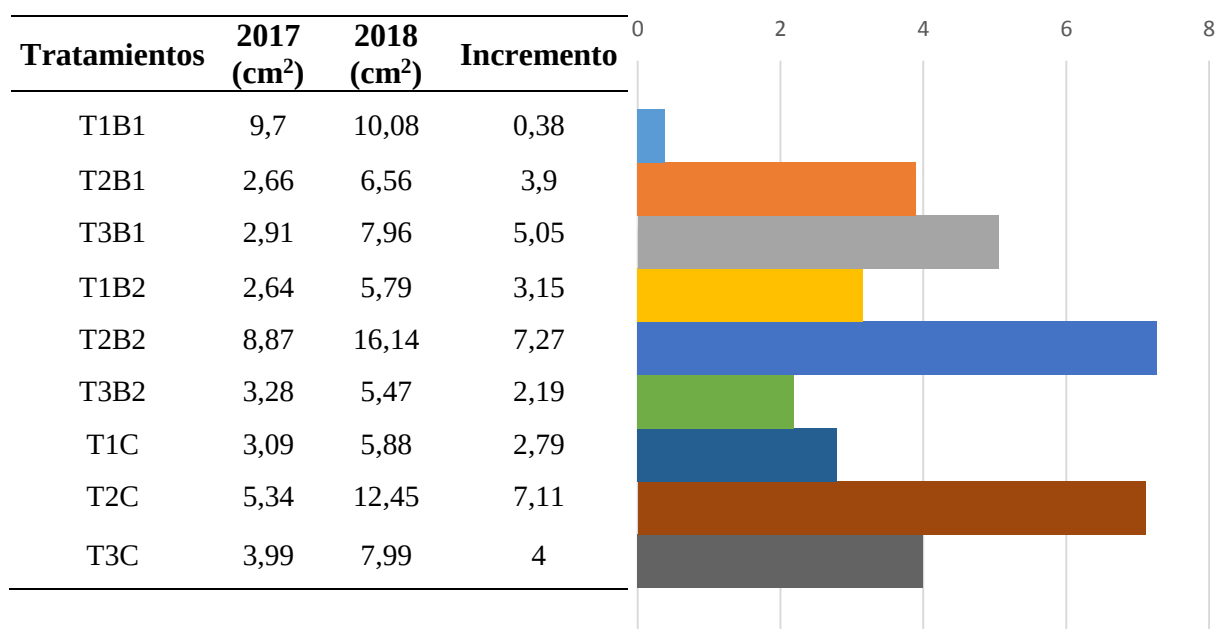
Tratamiento	2017		2018		
	N	Subconjunto 1	N	Subconjunto 1	2
T3	92	3,5524	88	6.96 ^a	
T1	94	4,6762	88	7.33 ^{ab}	7.33 ^{ab}
T2	94	5,5888	94		11.91 ^b
Sig.		,427		,982	,063

A un nivel de confianza del 95% se acepta la H_0 (Sig.>0,05), es decir ningún factor relacionado con el tipo de biocarbón tuvo efectos significativos en el incremento del área basal de las plantaciones a los 4 y 16 meses de evaluación. Las medias del área basal con el uso de biocarbón no presentan diferencias mínimas significativas a pesar de tener tamaños de muestra similares, presentan promedios similares (Tabla 6). Que a los 4 meses (2017) de evaluación experimental el biocarbón tiene efectos directos en el crecimiento de *M. balsamum* y *O. quixos*, sin embargo el biocarbón manufacturado o tradicional tiene los mismos efectos sobre el desarrollo de las plantaciones, 16 meses después el componente no influye en el crecimiento de las plantaciones, esto debido a que los tensores ambientales y variables climatológicas afectan las propiedades del biocarbón en el suelo y en las plantas (humedad, pH, etc.)

Tabla 6. Prueba de Tukey del biocarbón y efecto en el área basal

2017			2018		
B1B2C	N	Subconjunto 1	B1B2C	N	Subconjunto 1
C	140	4,1450	B1	66	8,2140
B2	71	4,9678	C	138	8,8584
B1	69	5,1987	B2	66	9,2910
Sig.		,814	Sig.		,871

En el caso de los tratamientos el mayor incremento del área basal lo obtuvo *Myroxylon balsamum* (T2) con la aplicación de B2 con 7,27 cm², seguido del *M. balsamum* (T2) sin aplicación de biocarbón (C = control) con 7,11 cm² y con menor incremento se dio en el T1 con la aplicación de B1 0,38 cm² (Tabla 7).

Tabla 7. Valores de Incremento del área basal de los Tratamientos

4.1.2. ALTURA (cm)

En la figura 6 se puede observar gráficamente que en el año 2017, el monocultivo de *O. quixos* mantiene una relativa equidad en el crecimiento tanto para los tratamientos con biocarbón, como para el control, el monocultivo de *M. balsamum* mantiene una equidad en el crecimiento con biocarbón tradicional, como para el control, y el cultivo en asocio de las dos especies mantiene una relativa equidad en el crecimiento tanto para los tratamientos con biocarbón, como para el control. Para el año 2018 T1 responde mejor a B1 en comparación con B2 y C. En T2 el B2 mantiene una equidad con C, mientras el tratamiento en asocio (T3) comienza a evidenciar cambios para B1 y C.

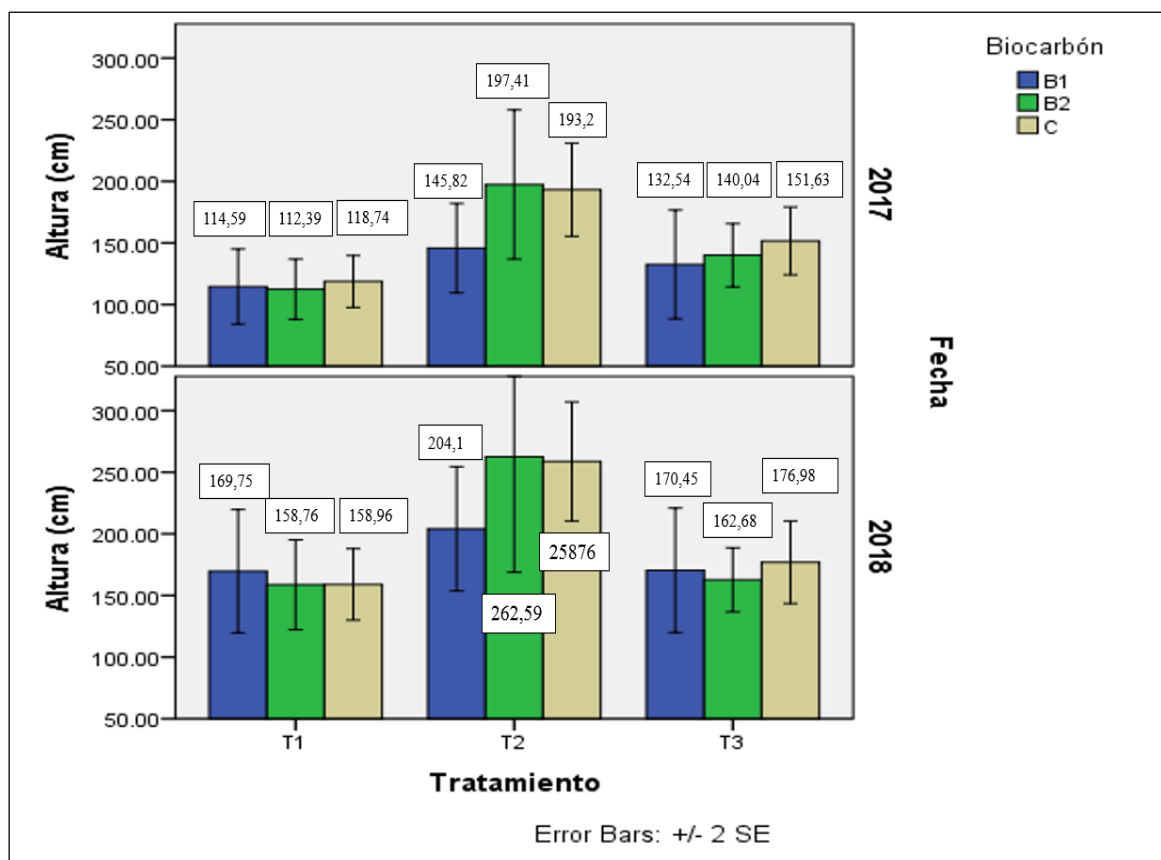


Figura 6. Gráfico de barras datos agrupados - Diferencias de incremento en la Altura de los Tratamientos.

T1: *Ocotea quixos*; **T2:** *Myroxylon balsamum*; **T3:** asocio de *O. quixos* y *M. balsamum*; **B1:** biocarbón manufacturado, **B2:** biocarbón tradicional y **C:** control.

A los 4 y 16 meses de evaluación en campo y con un nivel de confianza del 95% se rechaza la H_0 (Sig.<0,05), los tratamientos (Tipo de plantación) presentan efectos significativos en cuanto a la altura, al menos uno de sus promedios es diferente; mientras que B1B2C (Tipo de biocarbón) y la interacción entre este y los tipos de plantación tienen efectos nulos en los niveles de cada factor respecto a la altura de los individuos ya que sus medias son iguales. Es decir las plantaciones de *M. balsamum* y *O. quixos* presentan variaciones respecto a su altura, la primera es un árbol que puede crecer hasta los 40 m y máximos de DAP de 100 cm, mientras que *O. quixos* es un árbol que puede alcanzar tamaños máximos de aproximadamente 2-5 m de altura (Tabla 8).

Tabla 8. Prueba ANOVA a dos vías para la altura en las plantaciones con la implementación del biocarbón

Fecha		Gl	Suma de cuadrados	pr(>f)	Significancia
2017	Tratamiento	2	86321,585	9,020	,000
	B1B2C	2	13061,269	1,365	,257
	Tratamiento * B1B2C	4	5612,630	,586	,673
2018	Tratamiento	2	156202,646	9,090	,000
	B1B2C	2	6366,431	,370	,691
	Tratamiento * B1B2C	4	11462,402	,667	,615

Se acepta la H_0 , es decir con Sig.>0,05 no hay diferencias significativas en los efectos del tratamiento (tipo de plantación) con la altura. Sin embargo vale la pena aclarar que bajo la prueba de homogeneidad de subconjuntos se deduce cuales difieren significativamente entre sí. Para 2017 y 2018, ningún tratamiento influencia la variable altura de las plantaciones (Tabla 9).

Tabla 9. Prueba de Tukey para la altura de los Tratamientos

2017			2018		
Tratamiento	N	Subconjunto	Tratamiento	N	Subconjunto
		1 2			1 2
T1	94	116,1298 ^a	T1	88	161,7398 ^a
T3	92	144,0435 ^a	T3	88	171,7602 ^a
T2	94	182,6851 ^b	T2	94	246,3298 ^b
Sig.		,127 1,000	Sig.		,865 1,000

A pesar de que el biocarbón tiene efecto en el crecimiento de la planta según el análisis de Varianza, la prueba de subgrupos homogéneos llevada a cabo con el Test de Tukey y con un nivel de confianza del 95% ($\text{Sig} > 0,05$), se acepta la H_0 , deduciendo que no hay diferencias significativas en las alturas medias de las plantaciones. En este orden de ideas inferimos que el carbón tradicional y manufacturado tiene el mismo efecto en el crecimiento apical de las dos especies de árbol, el mismo caso que se logra apreciar con el área diamétrica o área basal (Tabla 10).

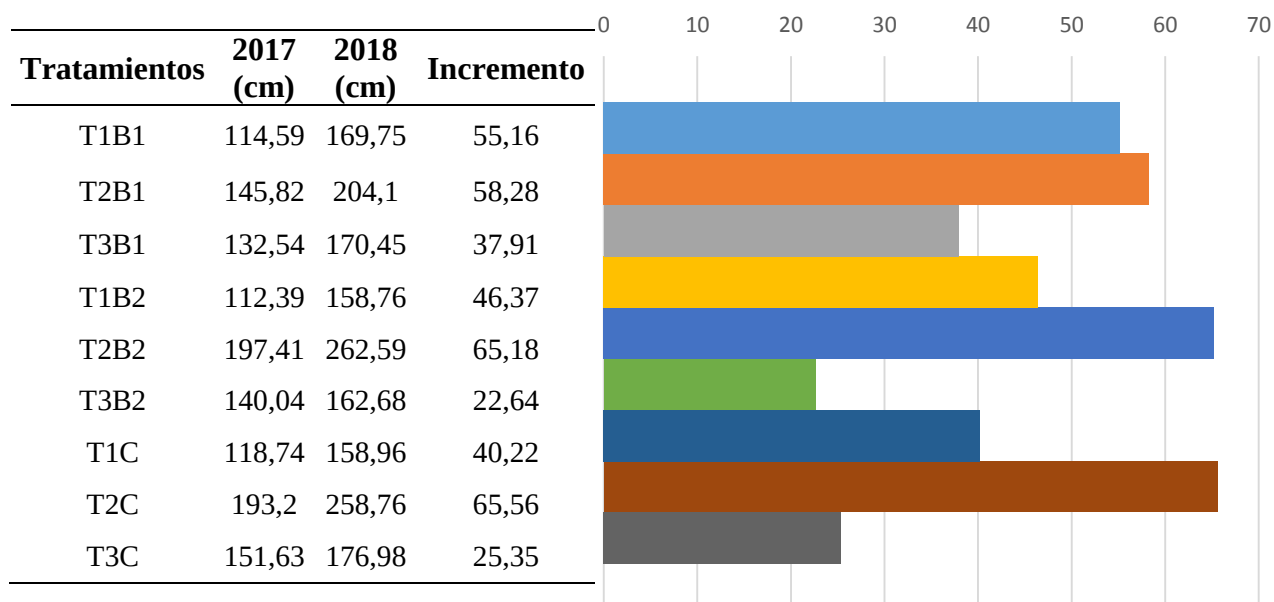
En cultivos de palma se ha demostrado que al agregar el biocarbón (6%), se podría aumentar la altura, el área de la hoja y el diámetro del tallo de la planta, pero no influye en el número de raíces, longitud y peso húmedo de las semillas. (Manaor S. *et al.*, 2018), así mismo se ha probado que la aplicación de biocarbón de cascarilla de arroz y paja de arroz, incrementa la fertilidad del suelo y la altura de árboles de palma de aceite y de caucho. (Z Hamzah and S N A Shuhaimi, 2018). Actualmente no se encuentran trabajos con *Piptocoma discolor* (Pigue) donde se validen estos resultados.

Tabla 10. Prueba de Tukey para la altura con el Biocarbón

2017			2018		
B1B2C	N	Subconjunto	B1B2C	N	Subconjunto
		1			1
B1	69	130,7275	B1	66	181,9379
B2	71	150,4789	B2	66	196,3121
C	140	154,5457	C	138	199,5543
Sig.		,257	Sig.		,673

En el caso de los tratamientos el mayor incremento de la altura lo obtuvo *Myroxylon balsamum* (T2) sin aplicación de biocarbón (C = control) con 65,56 cm, seguido del *Myroxylon balsamum* (T2) con la aplicación de B2 con 65,18 cm, y con menor incremento se dio en el asocio (T3) con la aplicación de B2 con 22,64 cm (Tabla 11).

Tabla 11. Valores de Incremento de la altura en los Tratamientos



4.1.3. NÚMERO DE HOJAS

En la figura 7 se puede observar gráficamente que en el año 2017, el número de hojas del monocultivo de *O. quixos* con biocarbón manufacturado (T1B1) está más desarrollada; el monocultivo de *M. balsamum* con biocarbón tradicional (T2B2) es el que presenta el mayor valor, y el cultivo en asocio de las dos especies mantiene una relativa equidad en el número de hojas tanto para los tratamientos con biocarbón, como para el control. Para el año 2018 T1 responde mejor a B1 en comparación con B2 y C. En T2 el C muestra los mejores resultados, mientras el tratamiento en asocio (T3) mantiene una equidad con B1, B2 y por último con C.

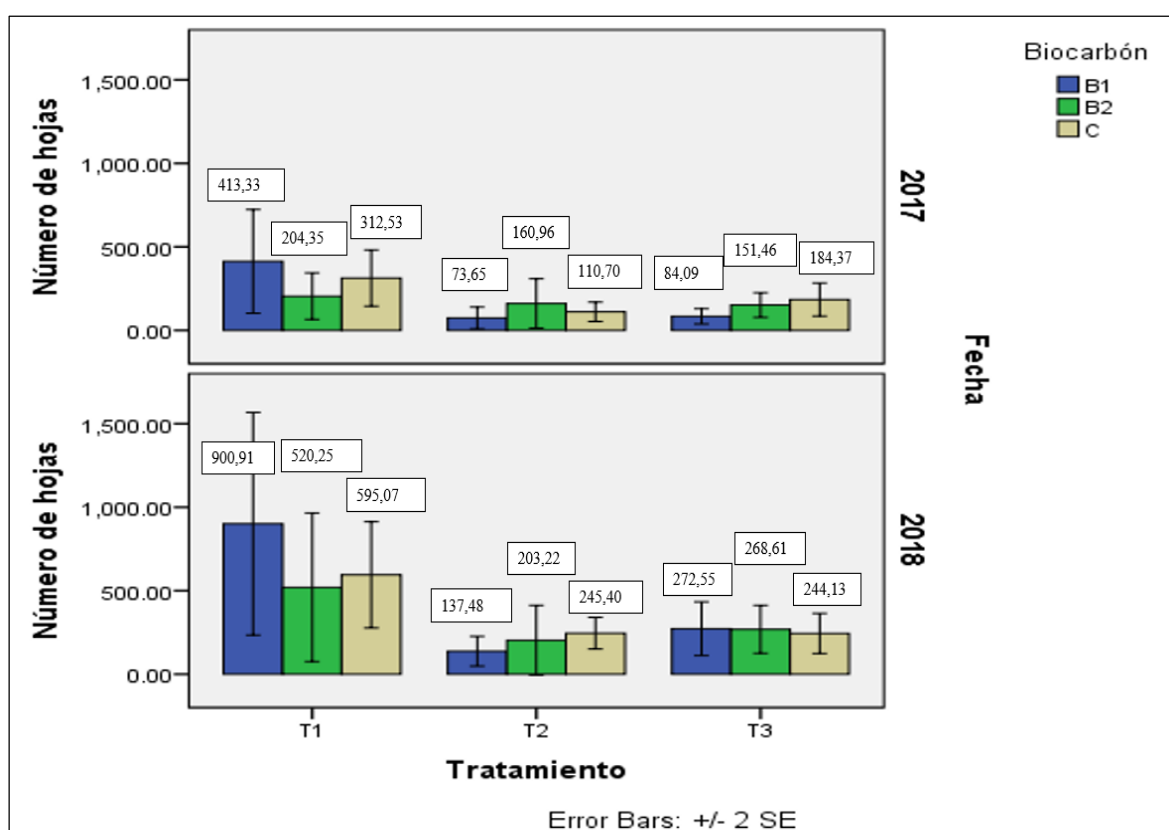


Figura 7. Gráfico de barras datos agrupados - Diferencias de incremento en el Número de Hojas de los Tratamientos.

T1: *Ocotea quixos*; **T2:** *Myroxylon balsamum*; **T3:** asocio de *O. quixos* y *M. balsamum*; **B1:** biocarbón manufacturado, **B2:** biocarbón tradicional y **C:** control.

A los 4 y 16 meses de evaluación con un nivel de confianza del 95% se rechaza la H_0 (Sig.<0,05), los tratamientos (Tipo de plantación) para 2017 y 2018 presentan efectos significativos en las variaciones de número de hojas, al menos uno de sus promedios es diferente; mientras que B1B2C (Tipo de biocarbón) y la interacción entre este y los tipos de plantación tienen efectos nulos en los niveles de cada factor respecto al número de hojas de los individuos ya que sus medias son similares en los tratamientos (Tabla 12).

Tabla 12. Prueba ANOVA a dos vías para el número de hojas

Fecha		Gl	Suma de cuadrados	pr(>f)	Significancia
2017	Tratamiento	2	950068,814	6,056	,003
	B1B2C	2	21692,414	,138	,871
	Tratamiento * B1B2C	4	178545,622	1,138	,339
2018	Tratamiento	2	5277385,529	9,250	,000
	B1B2C	2	202334,202	,355	,702
	Tratamiento * B1B2C	4	428376,254	,751	,558

Existen diferencias significativas entre todas las medias de los tratamientos T2, T3, T1 (Tipos de plantación) y ninguna guarda similitud en el tamaño de su media o en el incremento del número de hojas de los individuos plantados al contrastar con el HSD de Tukey. Con los valores de sig>0,05, se acepta la H_0 , por lo tanto ningún tipo de plantación tiene efectos en el incremento del número de hojas al ser especies distintas y con características morfológicas distintas (Tabla 13).

Tabla 13. Prueba de Tukey para el número de hojas en los Tratamientos (Tipos de plantación)

		Subconjunto				Subconjunto	
Tratamiento	N	1	2	Tratamiento	N	1	2
T2	94	114,4681 ^a		T2	94	208,6702 ^a	
T3	92	151,8043 ^a		T3	88	256,9886 ^a	
T1	94		311,7979 ^b	T1	88		658,0000 ^b
Sig.		,796	1,000	Sig.		,904	1,000

A los 4 y 16 meses de evaluación de datos en campo y con un nivel de confianza del 95% (Sig.>0,05) se acepta la H_0 , es decir los tratamientos con biocarbón presentan el mismo promedio en cuanto al número de hojas de los individuos como variable predictora de crecimiento y por lo tanto no tiene efecto alguno en el incremento del número de hojas (Tabla 14).

Se puede inferir que el bajo efecto del biocarbón en el crecimiento de las plantas se correlaciona con la presencia de los abanicos aluviales presentes en nuestra zona de estudio, los cuales por arrastre y lixiviación influyen en la pérdida de las propiedades físicas y químicas del biocarbón.

Vale la pena mencionar que existe la posibilidad de que el rompimiento por pirolisis de la materia orgánica y el pH del abono así como del suelo influyen en las propiedades del biocarbón y en la tasa de absorción de los dos tipos de plantas.

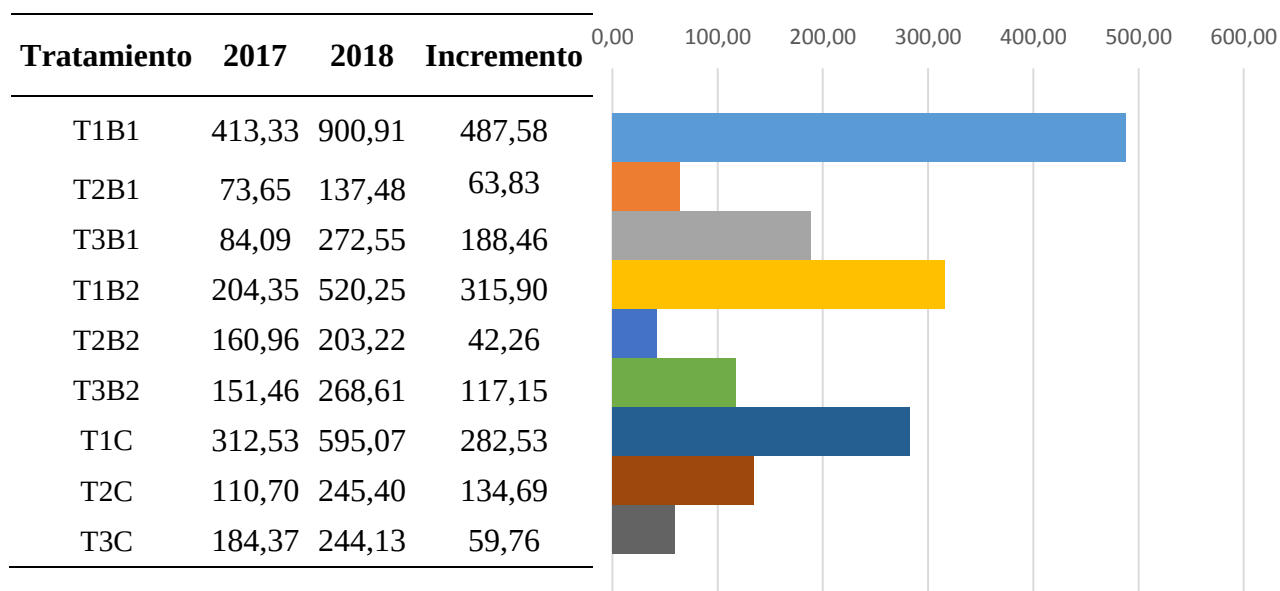
Se considera necesario un acondicionamiento del biocarbón con sustratos de materia orgánica con el fin de aumentar la efectividad. En experimentos llevados a cabo en laboratorios se demostró mediante análisis de regresión lineal la baja significancia entre el número de hojas y tratamientos con biocarbón, mientras que si se encontró una fuerte relación entre biocarbón acondicionado con estiércol Bovino (Lima *et al.*, 2013). Así mismo se han realizado trabajos donde se busca evaluar el efecto del biocarbón sobre *Entandrophragma cylindricum* y *Tamarindus indica*, sin embargo los resultados corroboran que la altura, el área basal y el número de hojas no son estadísticamente significativos cuando se usa 3 tipos de biocarbón (Enoma *et al.*, 2017). En este orden de ideas es necesario sistematizar el experimento teniendo en cuenta el área foliar de las plantas

Tabla 14. Prueba de Tukey para el número de hojas con el biocarbón

2017			2018		
Subconjunto			Subconjunto		
B1B2C	N	1	B1B2C	N	1
B2	71	171,8028	B2	66	322,0758
B1	69	195,1304	C	138	359,0072
C	140	202,6643	B1	66	444,4545
Sig.		,869	Sig.		,562

En el caso de los tratamientos el mayor incremento del número de hojas lo obtuvo *O. quixos* (T1) con la aplicación de B1 con 487,58, seguido de *O. quixos* (T1) con la aplicación de biocarbón de B2 con 315,90 y con menor incremento se dio en *M. balsamum* con la aplicación de B2 con 42,26 (Tabla 15).

Tabla 15. Valores de Incremento en el número de hojas en los Tratamientos



CAPÍTULO V

5.1. CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación presentaron valores significativos a los 4 meses de implementación del biocarbón para las variables (área basal y altura) de las especies (bálsamo y canelo). Se pudo apreciar un crecimiento mayor en la planta *O. quixos* a diferencia de *M. balsamum* debido a que en estado juvenil de la planta es muy lento en crecimiento y le afecta mucho estar al campo abierto, también cabe recalcar que estas especies son de suelos calcáreos de pH neutro y alcalino, según se ha visto que los suelos de las parcelas son muy ácidos y por ende su crecimiento y desarrollo va hacer lento.

Son pocos los estudios llevados a cabo con especies de tipo maderable, vale la pena mencionar que este estudio se realizó con periodos e intervalos temporales no sistemáticos para presentar resultados positivos a diferencia de algunos estudios realizados por algunos investigadores donde se aprecian valores altamente significativos a llevados a cabo a partir de dos a tres años y con en ensayos realizados en laboratorios, con aplicabilidad en el crecimiento de cultivos, plántulas, pastizales.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para futuras investigaciones recomendamos estandarizar como variable el área foliar de las plantaciones, teniendo en cuenta que el diseño se lleve a cabo con una sola especie para evitar errores o desviaciones en las pruebas de comparación.
- Realizar ensayos con otros tipos de biocarbón elaborado con otros residuos orgánicos para conocer el efecto de crecimiento de las especies maderables y hacer comparaciones de parámetros fisicoquímicas del suelo, al mismo tiempo observar la diferencia de composición de biocarbón.

CAPÍTULO VI

6.1. BIBLIOGRAFÍA

- Abril, A., Noel, L y Filippini, M. F. (2014). Microbiología Agrícola. Manejo de enmiendas para restaurar la materia orgánica del suelo en oasis de regadío de Mendoza, argentina. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Vol. 40. N. °1.
- Agroes. (2018). Enmiendas Orgánicas. Agricultura. Recuperado de <http://www.agroes.es/agricultura/abonos/100-enmiendas-organicas>
- Aguilar-Grethel y Iza-Alejandro. (2009). Derecho Ambiental en Centroamérica. Tomo I. UICN, Gland, Suiza. xiv + 396 p.
- Anda Basabe, S., Gómez de la Torre, S y Bedoya Garland, E. (2017). Estrategias productivas familiares, percepciones y deforestación en un contexto de transición forestal: el caso de Tena en la Amazonía ecuatoriana. *Anthropologica*, 35(38), 177-209.
- Barrera-Cataño, J. I. y Valdés-López, C. (2007). Herramientas para abordar la restauración ecológica de áreas disturbadas en Colombia. *Universitas Scientiarum*, 12(2).
- Borja María, O., Aragón-Osejo, J. y Josse, C. (2017). Bosques de la Región Amazónica Ecuatoriana: ¿Qué nos dicen las cifras de deforestación de los últimos 15 años?. Recursos naturales, ambiente y cambio climático. Universidad de Azuay. Pg. 63.
- Boullosa, N, (2010). Biocarbón: capturar carbono y enriquecer el suelo es viable. FAIR. Recuperado de <https://faircompanies.com/articles/biocarbón-capturar-carbono-y-enriquecer-el-suelo-es-viable/>
- Burbano, H. (2016). El suelo y su relacion con los servicios ecosistemicos y la seguridad alimentaria. *Ciencias Agrícolas*, 33(2), 117-124.
- Ceccon, E. (2014). Restauración en bosques tropicales: fundamentos ecológicos, prácticos y sociales. Ediciones Díaz de Santos
- CIPCA (2013). Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica. Recuperado de <https://www.uea.edu.ec/cipca/index.php/home/mision-vision/2013-09-24-08-38-45>.

- CIPCA. (2018). Centro de Investigación, Posgrado y Conservación Amazónica. Puyo. Ecuador. Recuperado de https://www.uea.edu.ec/?page_id=2376
- Davis, J. G., Whiting, D., & Wilson, C. (2000). Choosing a soil amendment. Gardening series. Basics; no. 7.235.
- Delgado, T. (2008), Evolución de la diversidad vegetal en Ecuador ante un escenario de cambio. Madrid.
- Dezzeo, N. s.f. Especies Útiles de la Amazonía. Especies forestales nativas de la Amazonía Ecuatoriana con potencial para uso en sistemas agroforestales.
- Enoma Aigbedion, William W. Modugu, F. N. O. (2017). Effects of potting mixture on the growth of seedlings of *Entandrophragma cylindricum* (SPRAGUE) and *Tamarindus indica* L, 41(1), 15–19.
- Escalante Rebolledo, A., Pérez López, G., Hidalgo Moreno, C., López Collado, J., Campo Alves, J., Valtierra Pacheco, E. y Etchevers Barra, J. D. (2016). Biocarbón (biocarbón) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34(3), 367-382.
- FAO, (2018). Un hogar en la Amazonía: proteger juntos la biodiversidad y los medios de vida. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperada de <http://www.fao.org/in-action/at-home-in-the-amazon/es/>.
- Feller, C., Landa, E., Toland, A. y Wessoleck, G. (2015). Case studies of soil in art. *Soil*, 1(2), 543-559.
- Fundación Chankuap. (2006). Manual de buenas prácticas de recolección de *Ocotea quixos* (Lam) Kostern. Informe Técnico. Macas, Ecuador.
- Gilces Reyna, M. A. (2014). Efectos de la aplicación de biocarbón y cenizas en las propiedades del suelo. Tesis, 22 pp.
- Gutierrez, C y Lopez, J. (2005). Especies forestales de uso tradicional del Estado de Veracruz. Universidad Veracruzana. Consejo Nacional para la Ciencia y la Tecnología.
- Instituto Amazónico De Investigaciones científicas SINCHI. (2006). Libro rojo de plantas de Colombia - Especies maderables amenazadas I parte. (Dairon Cardenas L. y Nelson

- R. Salinas, Ed.). Retrieved from <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2016/12/LibroRojoMaderables.pdf>
- Lannotti, M. (2018). What Are Soil Amendments?. The spruce. Recuperado de <https://www.thespruce.com/soil-amendments-1402460>
- Lehmann J, da Silva Jr. J P, Steiner C, Nehls T, Zech W y Glaser B 2003a Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil* 249, 343 –357.
- Lehmann, J. and Joseph, S. (2009) *Biocarbón for Environmental Management: Science and Technology*. Earthscan, London.
- Leigh, E. G., Davidar, P., Dick, C. W., Terborgh, J., Puyravaud, J. P., Steege, H. y Wright, S. J. (2004). Why do some tropical forests have so many species of trees? *Biotropica*, 36(4): 447-473.
- MAE. (2017). Bosques tropicales, ecosistemas con gran riqueza de especies. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Recuperado de <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/bosques-tropicales-ecosistemas-con-gran-riqueza-de-especies?idiom=es>
- MAE. (2018). Conservación y Recuperación de bosques tropicales. <http://www.ambiente.gob.ec/mae-promueve-conservacion-y-recuperacion-de-bosques-tropicales/>
- Major, J. (2018). *El Biocarbón: Una herramienta para el manejo sostenible de suelos y la producción de energía*. Ithaca, New York. Retrieved from www.eprida.com
- Márquez-Huitzil R. 2005. Fundamentos teóricos y convenciones para la restauración ecológica: aplicación de conceptos y teorías a la resolución de problemas en restauración. Páginas 159-168 en Sánchez O., R. Márquez-Huitzil, E. Vega, G. Portales, M. Valdez y D. Azuara (eds). *Temas sobre restauración ecológica*. Instituto Nacional de Ecología. México D. F
- Martínez, C. (2015). Efectos de enmiendas de biocarbón sobre el desarrollo en *Cucumis sativus* L. Var. SMR-58. (Tesis de maestría). Universidad de Guadalajara. Recuperada de

http://biblioteca.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5921/Martinez_Chavez_Carla_Cristina.pdf?sequence=1

- Mena, C. F. (2010). Deforestacion en el Norte de la Amazonia Ecuatoriana: del patron al proceso. *Polémika*, 5(1).
- Murcia, C. y Guariguata, M. R. (2014). La restauración ecológica en Colombia. Tendencias, necesidades y oportunidades. Documentos Ocasionales 107. Indonesia: CIFOR.
- Noriega, P., & Dacarro, C. (2008). Aceite foliar de *Ocotea quixos* (Lam.) Kosterm.: actividad antimicrobiana y antifúngica. *La Granja*, 7(1), 3-8.
- Olmo, P.M. (2016). Efectos del biocarbón sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal. (Tesis Doctoral). Universidad de Córdoba. Recuperada de <https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/13381/2016000001398.pdf?sequence=1>
- Palacios, W.A. (2016). *Myroxylon balsamum* y *Ocotea quixos*. Herbario Nacional del Ecuador. Universidad Tecnica del Norte. (pp. 51-52, 181-182).
- Payares Díaz, I. R., Mario-Contreras, O. A., Medrano-Vélez, M. A., & Millán-Romero, E. (2014). GERMINACIÓN Y DESARROLLO DE PLANTULAS DE *Myroxylon balsamum* (L.) Harms EN EL DEPARTAMENTO DE SUCRE. *Colombia Forestal*, 17(2), 193. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2014.2.a05>
- Pitman, N. C., Terborgh, J. W., Silman, M. R., Núñez V, P., Neill, D. A., Cerón, C. E. y Aulestia, M. (2001). Dominance and distribution of tree species in upper Amazonian terra firme forests. *Ecology*, 82(8): 2101-2117
- Ríos, Guayasamín. P. (2013). Los sistemas silvícolas-industriales como un aporte multifuncional a la economía verde en la producción amazónica (SSIEV): FASE 1, establecimiento de parcela de productos no maderables y medición de carbono microbiano del suelo (SSIEV-1). Pp 0-31.
- Ríos, Guayasamín. P. (2014). Los sistemas silvícolas-industriales como un aporte multifuncional a la economía verde en la producción amazónica (SSIEV): FASE 2, Medicion de indicadores biológicos de calidad de suelo – carbono en el suelo, biomasa y diversidad de artrópodos – (SSIEV-2). Pg 1-19

- Sierra, R. (2013). Patrones y factores de deforestación en el Ecuador continental, 1990-2010. Y un acercamiento a los próximos, 10, 57.
- Spokas, K. A. (2010). Review of the stability of biocarbón in soils: predictability of O: C molar ratios. Carbon Management, 1(2), 289-303.
- Valarezo, A., Villamagua, M. y Mora, M. (2017). Respuesta del Pachaco y la Melina. A la aplicación de biobiocarbón y fertilización en el sur de la Amazonía Ecuatoriana, Bosque Latitud Cero, Universidad Nacional de Loja, Vol 6.
- Vanegas L, M. (2016). Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemas degradados, utilizando para reforestación solo especies nativas en zonas prioritarias.
- Vargas, R, O. (2011). Restauración Ecológica. BIODIVERSIDAD Y CONSERVACIÓN. Acta Biológica Colombiana, 16 (2), 221-246.
- WWF, (2016). Un enfoque regional para la conservación en la Amazonía. Amazonía Viva. Pg. 10.
- Z Hamzah and S N A Shuhaimi. (2018). Biocarbón: effects on crop growth. Earth and Environmental Science, 1–8. Retrieved from <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/215/1/012011/pdf>

6.2. ANEXOS



Anexo 1. Medición del área basal a 5 cm ($AB\text{ cm}^2$) de cada uno de los tratamientos *O. quixos* y *M. balsamum* en las Parcelas Alta y Baja.



Anexo 2. Medición de la altura total (Hcm) de cada uno de los tratamientos *O. quixos* y *M. balsamum* en las Parcelas Alta y Baja.



Anexo 3. Conteo respectivo de hojas en cada uno de los tratamientos *O. quixos* y *M. balsamum* en las Parcelas Alta y Baja.