

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE



Evaluación del efecto de biocarbón obtenido a partir de residuos sólidos orgánicos del mercado central de Tumbes sobre la germinación y crecimiento de plántulas de especies forestales *Ceiba trichistandra* y *Bursera graveolens* en etapa de vivero

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE

Bach. LLOCLLA VEINTIMILLA, ARTURO STEVEN

Bach. LOPEZ MEDINA, DARWYN ALEX

TUMBES – PERÚ
2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE



Evaluación del efecto de biocarbón obtenido a partir de residuos sólidos orgánicos del mercado central de Tumbes sobre la germinación y crecimiento de plántones de especies forestales *Ceiba trichistandra* y *Bursera graveolens* en etapa de vivero

APROBADA EN CONTENIDO Y FORMADA POR:

Dr. MIGUEL ANTONIO PUESCAS CHULLY
Presidente

Mg. CESAR YOEL FEIJOO CARRILLO
Secretario

Mg. VICTOR MANUEL SAAVEDRA CHAVEZ
Vocal

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE



Evaluación del efecto de biocarbón obtenido a partir de residuos sólidos orgánicos del mercado central de Tumbes sobre la germinación y crecimiento de plantones de especies forestales *Ceiba trichistandra* y *Bursera graveolens* en etapa de vivero

LOS SUSCRITOS DECLARAMOS QUE EL PRESENTE TRABAJO DE TESIS ES ORIGINAL EN SU CONTENIDO Y FORMA

Bach. Lloclla Veintimilla, Arturo Steven
Ejecutor

Bach. López Medina, Darwyn Alex
Ejecutor

Dr. Cruz Cerro, Gerardo J. F.
Asesor

Ing. John Rimaycuna Ramírez
Co-asesor

AGRADECIMIENTO

A DIOS en primera instancia, por regalarnos esta vida maravillosa y permitirnos haber culminado este camino que empezamos a transitar hace algunos años, y por haber hecho realidad este sueño anhelado de ser profesional.

A la UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES por darnos la oportunidad de estudiar y a los docentes quienes nos han brindado sus conocimientos a lo largo de nuestra formación como estudiantes.

Al Dr. Gerardo Juan Francisco Cruz Cerro y al Ing. John Rimaycuna Ramírez por haber contribuido en forma acertada con su asesoramiento para el desarrollo de la tesis, ya que gracias a su dedicación, conocimientos, sus experiencias, su paciencia y su motivación ha logrado culminar con éxito este proyecto.

A nuestros padres, quienes nos han brindado su ayuda y su confianza, asimismo nos han motivado durante nuestra formación profesional.

Para ellos: Muchas gracias y que Dios los bendiga.

DEDICATORIA

Esta tesis está dedicada a Dios por regalarnos una vida maravillosa y por habernos dado la fortaleza y voluntad para culminar nuestra carrera profesional como ingenieros forestales y medio ambiente.

A nuestros padres por haber confiado en nosotros, por su apoyo incondicional, por haber estado con nosotros en las buenas y en las malas, por ser nuestro ejemplo a seguir y nuestra inspiración, siendo ellos nuestro motor y motivo de seguir adelante y ser mejores cada día, a nuestros hermanos y demás seres queridos por brindarnos su amor, apoyo, lealtad y por la confianza brindada.

También queremos dedicarles esta tesis a los docentes de la escuela de Ing. Forestal y Medio Ambiente quienes con sus conocimientos contribuyeron en nuestra formación como ingenieros forestales y medio ambiente, gracias por todo.

INDICE

RESUMEN	11
SUMMARY	12
INTRODUCCION	13
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO	15
1.1. Vivero Forestal	15
1.1.1. Tipos de viveros forestales	15
1.1.2. Partes de un vivero forestal	16
1.1.3. Trabajos desarrollados en un vivero forestal	16
1.1.3.1. Aplicación de tratamiento pre-germinativos	17
1.1.3.2. Siembra	17
1.1.3.3. Repique	17
1.1.3.4. Riego	18
1.1.3.5. Deshierbe	18
1.2. Germinación de las plantas	18
1.2.1. Factores que intervienen en la germinación	19
1.2.1.1. Viabilidad	19
1.2.1.2. Factores externos	19
1.2.1.3. Factores internos	20
1.3. Crecimiento de las plantas	21
1.3.1. Estudio matemático del crecimiento	21
1.4. Sustrato	24
1.4.1. Propiedades físicas de los sustratos	25
1.4.1.1. Granulometría	25
1.4.1.2. Porosidad	25

1.4.1.3.	Densidad aparente.....	26
1.4.2.	Propiedades químicas de los sustratos	26
1.4.2.1.	Capacidad de intercambio catiónico (CIC).....	27
1.4.2.2.	pH.....	27
1.4.2.3.	Relación carbono nitrógeno (C/N)	27
1.4.2.4.	Conductividad eléctrica.....	28
1.4.3.	Propiedades biológicas de los sustratos	28
1.5.	Especies estudiadas	28
1.5.1.	<i>Ceiba trichistandra</i> (A.Gray) Bakh (1924)	28
1.5.2.	<i>Bursera graveolens</i> (Kunth) Triana & Planch (1872)	30
1.6.	Biocarbón	31
1.6.1.	Estructura química	31
1.6.2.	Estructura físicas-químicas	32
1.6.3.	Proceso de fabricación del biocarbón	33
1.6.3.1.	Materias primas.....	33
1.6.3.2.	Procesos para la obtención de biocarbón	33
CAPITULO II: ANTECEDENTES.....		36
CAPITULO III: MATERIALES Y METODOS.....		44
3.1.	Materiales y Equipos	44
3.1.1.	Material experimental	44
3.1.2.	Materiales, insumos y equipos de vivero	44
3.1.3.	Materiales del laboratorio.....	44
3.1.4.	Equipos del laboratorio	45
3.1.5.	Reactivos del laboratorio	46
3.2.	Metodología	47
3.2.1.	Obtención de la materia prima	47

3.2.1.1. Acondicionamiento de la materia prima a utilizar	47
3.2.2. Producción del Biocarbón.	47
3.2.3. Caracterización del biocarbón a partir de materia orgánica residual del mercado modelo de Tumbes.....	48
3.2.3.1. Humedad	49
3.2.3.2. Cenizas	49
3.2.3.3. Determinación del pH carga cero	50
3.2.4. Recolección de semillas de las especies y suelo agrícola	50
3.2.5. Prueba de viabilidad de las semillas	54
3.2.6. Prueba de germinación de semillas	54
3.2.7. Preparación del sustrato	55
3.2.8. Preparación de bolsas de almacigo	55
3.2.9. Levantamiento de datos	55
3.2.10. Evaluación del suelo y sustrato	56
3.2.10.1. Textura	56
3.2.10.2. Capacidad de Campo	58
3.2.10.3. Porosidad y Densidad.....	59
3.2.10.4. pH.....	60
3.2.10.5. Conductividad eléctrica.....	60
3.2.10.6. Capacidad de intercambio catiónico.....	61
CAPITULO IV: RESULTADOS	63
4.1. Rendimiento de la Materia Prima para la elaboración de Biocarbón	63
4.2. Caracterización del biocarbón a partir de la materia prima utilizada.	64
4.3. Análisis de la viabilidad de <i>Ceiba trichistandra</i>	65
4.4. Análisis de germinación de <i>Ceiba trichistandra</i>	66
4.5. Análisis del crecimiento de <i>Ceiba trichistandra</i>	66
4.5.1. Altura.....	66

4.5.2. Diámetro de cuello	69
4.5.3. Área foliar	73
4.5.4. Longitud de raíz	73
4.6. Análisis de la viabilidad de <i>Bursera graveolens</i>	74
4.7. Análisis de germinación de <i>Bursera graveolens</i>	74
4.8. Análisis de crecimiento de <i>Bursera graveolens</i>	75
4.9. Análisis edafológicos de los sustratos.....	75
CAPITULO V: DISCUSIÓN	77
5.1. Producción y caracterización de biocarbón	77
5.2. Características de los sustratos	77
5.3. Germinación y crecimiento de las especies estudiadas	78
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
6.1. CONCLUSIONES	81
6.2. RECOMENDACIONES	82
BIBLIOGRAFIA	83
ANEXOS.....	89

RESUMEN

La presente investigación, tuvo por finalidad evaluar el efecto del biocarbón producido a partir de residuos sólidos orgánicos del mercado modelo de Tumbes sobre la germinación y el crecimiento de plántones forestales de *Ceiba trichistandra* y *Bursera graveolens*. Se recolectaron residuos sólidos orgánicos del mercado modelo de Tumbes, los cuales fueron secados, molidos y tamizados. Para la producción de biocarbón se utilizó el método de pirolisis lenta en un horno tubular, usando una proporción de 1 en 3 (residuo tamizado – agua); logrando una eficiencia de 24,4%. El material pirolizado fue tamizado hasta alcanzar un tamaño de partícula de 75 μm . Se prepararon bolsas de almácigo de 400 g de sustratos elaborados a partir de la mezcla de tierra de chacra y biocarbón en concentraciones del 0% (testigo), 5% y 10 %. El biocarbón obtenido presentó muy baja área superficial (2,9 m^2/g), con un pH carga cero moderadamente alcalino (8,0) y una humedad relativa de 4,49%. La difracción de rayos X mostró picos amplios asimétricos aproximadamente en 27 y 47,5 grados que corresponde a material carbonizado sin embargo también se observó la presencia de impurezas. El espectro Raman exhibió las bandas D y G centradas en 1340 $1/\text{cm}$ y 1569 $1/\text{cm}$. La especie *Ceiba trichistandra* germinó 20% más en el sustrato con la presencia de biocarbón comparado con el testigo. Para el parámetro de altura, área foliar y longitud de raíz, las plantas que se sembraron en el sustrato sin biocarbón fueron las que tenían los mayores valores promedio al término del ensayo. Para el parámetro de diámetro de cuello, las plantas que se sembraron en el sustrato con mayor concentración de biocarbón fueron las que tenía mayor incremento promedio. La especie *Bursera graveolens* no pudo ser evaluada, debido a que a pesar de que las semillas estaban viables, estas no germinaron, por lo que no se pudieron realizar mayores estudios.

Palabras Claves: Biocarbón, germinación, crecimiento, residuos sólidos, especies forestales

SUMMARY

The present study aimed to evaluate the effect of biochar produced from organic solid waste from the Tumbes public market on the germination and growth of forestry species of *Ceiba trichistandra* and *Bursera graveolens*. An organic solid waste sample was collected from the Tumbes public market, which were dried, ground and sieved. To produce biochar, the slow pyrolysis method was used in a tubular horizontal oven, using a ratio of 1 in 3 (sieved biomass - water); achieving an efficiency of 24.4%. The pyrolyzed material was sieved to reach a particle size of 75 μm . Storage bags of 400 g were filled with substrates prepared from the mixture of farm soil and prepared biochar in concentrations of 0% (control), 5% and 10%. The biochar presented a very low specific surface area (2,9 m^2/g), with a pH of zero point charge moderately alkaline (8,0) and a relative humidity of 4.49%. X-ray diffraction showed broad asymmetric peaks at approximately 27 and 47.5 degrees which is related to carbonized materials; however, the presence of impurities was observed. The Raman spectrum exhibited the bands D and G centered at 1340 and 1569 $1/\text{cm}$. The *Ceiba trichistandra* species germinated 20% more in the substrate with the presence of biochar compared with the control. For the parameter of height, leaf area and root length, the plants that were sown in the substrate without biochar were those that had the highest average values at the end of the trial. For the parameter of neck diameter, the plants that were seeded in the substrate with the highest concentration of biochar were the ones with the highest average increase. The species *Bursera graveolens* could not be evaluated, because although the seeds were viable, they did not germinate, so no further studies could be conducted.

Key words: biochar, germination, growth, solid waste, forest species

INTRODUCCION

En el Perú, más del 80% de la deforestación ha tenido lugar en tierras destinadas a un uso mayor forestal o incluso para su protección. Por ello la probabilidad de que las actividades agropecuarias sean sostenibles es muy pequeña, solo en el 2014, la deforestación llegó a 177,571 hectáreas de bosques, con tendencia a seguir aumentando (Programa Bosques, 2016).

En Tumbes las especies afectadas por la extracción ilegal, expansión de la frontera agrícola y acuícola son el Algarrobo, Ceibo, Zapote, Palo Santo, Faique, Hualtaco, Guayacán, entre otras. Algunas de estas especies se han convertido en ingresos económicos importantes para la actividad ilegal. La ausencia de vigilancia y control en bosques y carreteras permiten que muchas de estas especies sean transportadas a diferentes puntos de la región e incluso a nivel nacional. La especie en estudio Palo Santo actualmente es utilizada para fabricación de artesanías y otros, sin embargo, está citada en el DS N°043-2006-AG como especie en peligro crítico.

Por otro lado, en el ámbito ambiental del Perú, el Informe de la Defensoría del Pueblo N° 125 (Defensoría del Pueblo, 2007), detalla apropiadamente la manera en que los residuos sólidos perjudican el medio ambiente y la salud. Indica que los residuos sólidos generan impactos negativos en la atmósfera, producen dioxinas al ser quemados. Así mismo impactan negativamente los suelos producto de sus lixiviados y contaminan las aguas superficiales y subterráneas. Los escenarios que son generados por la contaminación provocan enfermedades que perjudican a los ciudadanos, en especial los que se encuentran en pobreza extrema, ya que son los más vulnerables. El problema fundamental de los residuos sólidos y sus impactos sobre la salud humana es la proliferación de vectores capaces de transmitir diversas enfermedades (Defensoría del Pueblo, 2007).

En esta coyuntura, la presente investigación tiene como objetivo evaluar el efecto del biocarbón producido a partir de residuos sólidos orgánicos sobre la germinación y crecimiento de plantas forestales de *Ceiba trichistandra* y *Bursera graveolens*, con la

finalidad de brindar una alternativa sustentable de reforestación y amigable con el medio ambiente.

La justificación de la presente investigación se sustenta técnicamente en la aplicación de biocarbón para mejorar el proceso de germinación y crecimiento de las especies forestales *Ceiba trichistandra* y *Bursera graveolens*, especies que son representativas de la región Tumbes. En el anexo 4 es posible observar los distintos usos actuales de las especies consideradas en el presente estudio, sobresaliendo usos como: artesanía en madera, cajonería, medicinal, alimento para ganado y fauna silvestre.

Este estudio plantearía una alternativa de reutilización de residuos orgánicos para la producción de plantas, reduciendo la carga de materia orgánica en la etapa de disposición final, por consiguiente, reduciendo costos en las actividades en un sistema de gestión de residuos sólidos. Así mismo permitiría reducir el riesgo de contaminación de suelo, aire y fuentes de agua subterránea.

CAPITULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Vivero Forestal

El vivero forestal es una instalación que tiene como finalidad la producción de árboles que después serán trasladados a un lugar definitivo para que continúen su crecimiento.

En este espacio se monitorean una serie de características como la humedad, la temperatura, enfermedades, nutriente entre otras; en toda la etapa del individuo, desde que es semilla hasta que está preparada para establecerse en la naturaleza (Navall, 2006).

1.1.1. Tipos de viveros forestales

Navall (2006), menciona que existen distintos ejemplos de vivero: conforme a su duración (permanentes o temporales); conforme a su producción (a raíz desnuda o en envase); y conforme a su dimensión (pequeños, medianos o grandes).

Los viveros temporales son aquellas instalaciones que tienen como propósito generar individuos para un tiempo relativamente corto y son edificados con materiales simples y asentados cerca del sitio donde se efectuará el trasplante (Jiménez, 1994).

Los viveros permanentes son aquellas instalaciones que generan individuos por varios periodos; por eso necesitan de construcciones con materiales durables y de establecimientos permanentes como almacenes, oficinas, reservorios de agua, sistema de irrigación, entre otros. Comúnmente los institutos de investigación, los programas de desarrollo y compañías destinadas a la venta de plantones los edifican (Oliva *et al.*, 2014).

1.1.2. Partes de un vivero forestal

Landis *et al.* (1994), menciona que un vivero forestal está dividido en: área de desarrollo, el cual está formada por los distintos tipos de camas y la zona de elaboración de sustratos; y el área de los establecimientos de servicios están formados por almacenes, oficinas entre otras edificaciones administrativas.

Hay diferentes modelos de camas, entre ellas se encuentran:

- Camas de almácigo: Estas son utilizadas para la germinación de los simientes; en estos entornos se ajustan la exposición al viento, la radiación solar, la temperatura, entre otros componentes ecológicos (Navall, 2006). Con la finalidad de que su exposición a la luz sea la adecuada, estas estructuras deben posicionarse de este a oeste (Galloway y Borgo, 1985).
- Camas de repique: Estas son utilizadas para contener las plantas puestas en envases donde individuos nacidos en la cama de almácigo serán llevados a su hábitat definitivo (Navall, 2006).

Para un apropiado manejo de las instalaciones se recomienda diseñar un sistema de vías que proporcione la entrada a cada una de sus instalaciones. El tamaño para las vías varía en equipos, cantidad de personas que transiten por ellos y la función de los vehículos. También que la edificación del área de elaboración y el área de los establecimientos de servicios depende de las dimensiones y vida útil pronosticada para el vivero, así mismo de los fondos disponibles. (Galloway y Borgo, 1985)

1.1.3. Trabajos desarrollados en un vivero forestal

En la etapa de generación de individuos forestales se llevan a cabo diferentes actividades:

1.1.3.1. Aplicación de tratamiento pre-germinativos

Esta acción se realiza con el fin de uniformizar y favorecer la germinación a través de agilizar el proceso de imbibición (Navall, 2006).

En viveros forestales emplean generalmente el remojo tanto en agua caliente como fría (Jiménez, 1994). Además, usan cortes a la testa, lijado, ácidos, etc. (Navall, 2006).

1.1.3.2. Siembra

Esta tarea puede suceder tanto en cama como en el envase mismo (Jiménez, 1994).

En la siembra en cama hay tres métodos: voleo; usado en semillas ligeras (aliso, la casuarina y el eucalipto); en surcos, usado en semillas de tamaño regular (cerezo, ciprés y pino); y al golpe, usado en semillas grandes (nogal y palmeras) (Jiménez, 1994).

Para la siembra directa, se dispone a sembrar en el mismo envase de polietileno. Para esto se procede a elaborar un agujero en la tierra, se coloca la semilla en ella y se recubre. Comúnmente la profundidad es el doble del diámetro de la semilla (Jiménez, 1994).

1.1.3.3. Repique

Oliva *et al.* (2014), mencionan que el repique es la actividad de trasladar las semillas germinadas de las camas hacia los envases de polietileno. El momento de repique varía acorde la especie y/o criterio de la personal a ejecutar esta acción. Se puede proceder cuando la plántula posea dos o cuatro hojas verdaderas (depende del tamaño de la semilla).

1.1.3.4. Riego

Este se debe realizar con una regadera o un equipo que sea capaz de aminorar el golpe del agua sobre el suelo y el individuo. Si no, este genera pérdida de suelo o las raíces se exponen (Oliva *et al.*, 2014).

1.1.3.5. Deshierbe

Jiménez (1994), menciona que la maleza que crece cerca a los individuos puede tornarse un problema serio si es que no se exterminan a tiempo.

Se aconseja deshierbar después del riego y antes de su traslado al ambiente definitivo (Jiménez, 1994). Igualmente, no esperar a que crezcan demasiado ya que causaría un entrelazado entre las raíces de la maleza y la plántula, ya que al ser retiradas pueden dañarse (Oliva *et al.*, 2014).

A parte de estas labores que ya se mencionaron, también se llevan a cabo la elaboración del sustrato, el envasado, remoción de envases, poda de las raíces, control de plagas y enfermedades y el fortalecimiento de los individuos (Buamscha *et al.*, 2012; Oliva *et al.*, 2014).

1.2. Germinación de las plantas

Es una serie de fenómenos por los que el embrión, hallándose en una fase de vida latente, retoma su desarrollo y germina para formar una plántula. En resumen, es la activación metabólica de la semilla para que esta germine en una plántula normal (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza [CATIE], 1996).

1.2.1. Factores que intervienen en la germinación

Para la germinación de una semilla deben efectuarse tres condiciones según Hartman y Kester citados por Azul C. (2013), primero que el embrión sea viable, que los factores externos sean adecuados y que no muestren factores internos que eviten la germinación.

1.2.1.1. Viabilidad

García *et al.*, (2006), mencionan que la viabilidad es el periodo en el que las semillas mantienen la condición para su germinación. Es lapso voluble que va a depender del tipo de semillas y del estado en el que han sido almacenadas.

1.2.1.2. Factores externos

Los factores externos que afectan en la germinación de una planta son:

Humedad: El primer paso es la absorción del agua, y también es el paso más trascendental, que se sitúa en tiempo de la germinación; con la finalidad de que la semilla se active metabólicamente es vital que sus tejidos se rehidraten. La diferencia del potencial hídrico que hay entre el exterior y la semilla es la causante del ingreso del agua (García *et al.*, 2006).

Temperatura: García *et al.* (2006), mencionan que es un elemento determinante en el transcurso de la germinación, esta interviene en las enzimas que controlan la velocidad de las reacciones bioquímicas que suceden dentro de la semilla luego de que los tejidos están rehidratados. La labor de cada enzima se realiza entre un rango determinado de temperatura, habiendo un punto intermedio óptimo. Por ello, las semillas sólo germinan en un rango de temperatura. Cuando la temperatura está muy elevada o muy baja, pese a que las demás condiciones sean propicias, no habrá germinación.

Oxígeno: Es vital en las reacciones metabólicas, particularmente en la respiración. Pese a que, en las primeras etapas de la germinación, las fases como el quiebre del tegumento por parte de la radícula, las reacciones son de naturaleza anaeróbica, luego cambian y se hace completamente dependiente del oxígeno (CATIE, 1996).

Luz: CATIE (1996), dice que la susceptibilidad de las semillas a la radiación lumínica varía conforme a la especie. Algunas reaccionan positivamente por la luz mientras que otras no tanto. La reacción de las semillas a la luminosidad, está enlazada a una cromoproteína denominada “fitocromo”, agente encargado de capturarla. Fundamentalmente el fitocromo es un sensor y fotorregulador que captura, traduce y amplifica señales para la germinación (Sierra, 2005).

1.2.1.3. Factores internos

Los factores internos que afectan en la germinación de una planta son:

Impulsadores de la germinación: Los vitales impulsores para que la germinación se active, son el ácido indolacético (AIA), la giberelina (AG) y las citoquininas, sustancias que se hallan en escasas dosis dentro de la semilla, su composición corresponde a sus características genéticas y responde específicamente al entorno (por ejemplo, fitocromo 660 nm, impulsa la creación de giberelina y al mismo tiempo origina la germinación) (CATIE, 1996).

Inhibidores de la germinación: Courtis (2013), los define como compuestos químicos que pueden ser elaboradas o introducidos a la semilla con el fin de impedir el progreso del embrión, tales como el ácido abscísico (ABA), compuestos orgánicos aromáticos (fenólicos,

benzoicos, cofactores de AIA oxidasa, difenólicos) y compuestos provenientes de lactonas (cumarina, escopoletina, juglona).

1.3. Crecimiento de las plantas

El crecimiento se entiende, teóricamente, como un incremento del protoplasma activo. Además, el concepto también abarca la aglomeración de células muerta en los tejidos leñosos y de otro tipo (James, 1967).

Varios autores concluyen en que el crecimiento es el incremento inalterable de las dimensiones de una célula, tejido, órgano u organismo (Barrera et al., 2010; Bidwell, 2000; De Armas et al., 1988; Salisbury y Ross, 2000)

1.3.1. Estudio matemático del crecimiento

Hunt, mencionado por Barrera *et al.* (2010), manifiesta que el estudio matemático del crecimiento es un acercamiento cuantitativo, utilizando datos para definir y explicar a la flora que crece en un entorno natural, seminatural o controlado.

Los modelos de crecimiento que se enuncian desde el análisis matemático se agrupan en dos (Barrera *et al.*, 2010):

- Modelos empíricos o descriptivos: Este modelo no toma en cuenta claramente las repercusiones del entorno, por ende, las funciones son puramente descriptivas, ya que se adaptan a condiciones puntuales y los resultados no pueden extrapolarse a otros escenarios.
- Modelos causales, mecanísticos o explicativos: Se integran por submodelos descriptivos simples, determinados por algunas características del crecimiento (el desarrollo del área foliar, expansión celular, etc.).

Bidwell (2000), explica que este modelo no lo siguen gran parte de las arboles superiores por un periodo de tiempo prolongado. Acorde con esta

idea se establece un sistema para analizar el crecimiento de los individuos, esta consta en evaluar el incremento del largo del eje principal del individuo; no obstante, también se producía severos inconvenientes ya que el crecimiento en grosor no se tenía presente, y este no es obligatoriamente proporcional al crecimiento del eje principal en vertical (James, 1967).

El crecimiento, es representado matemáticamente por una curva sigmoidea que se puede observar Figura N°01, y también se vincula a la curva de tasa absoluta de crecimiento la cual toma forma de campana, esta se puede observar en la Figura N°02 (De Armas *et al.*, 1988).

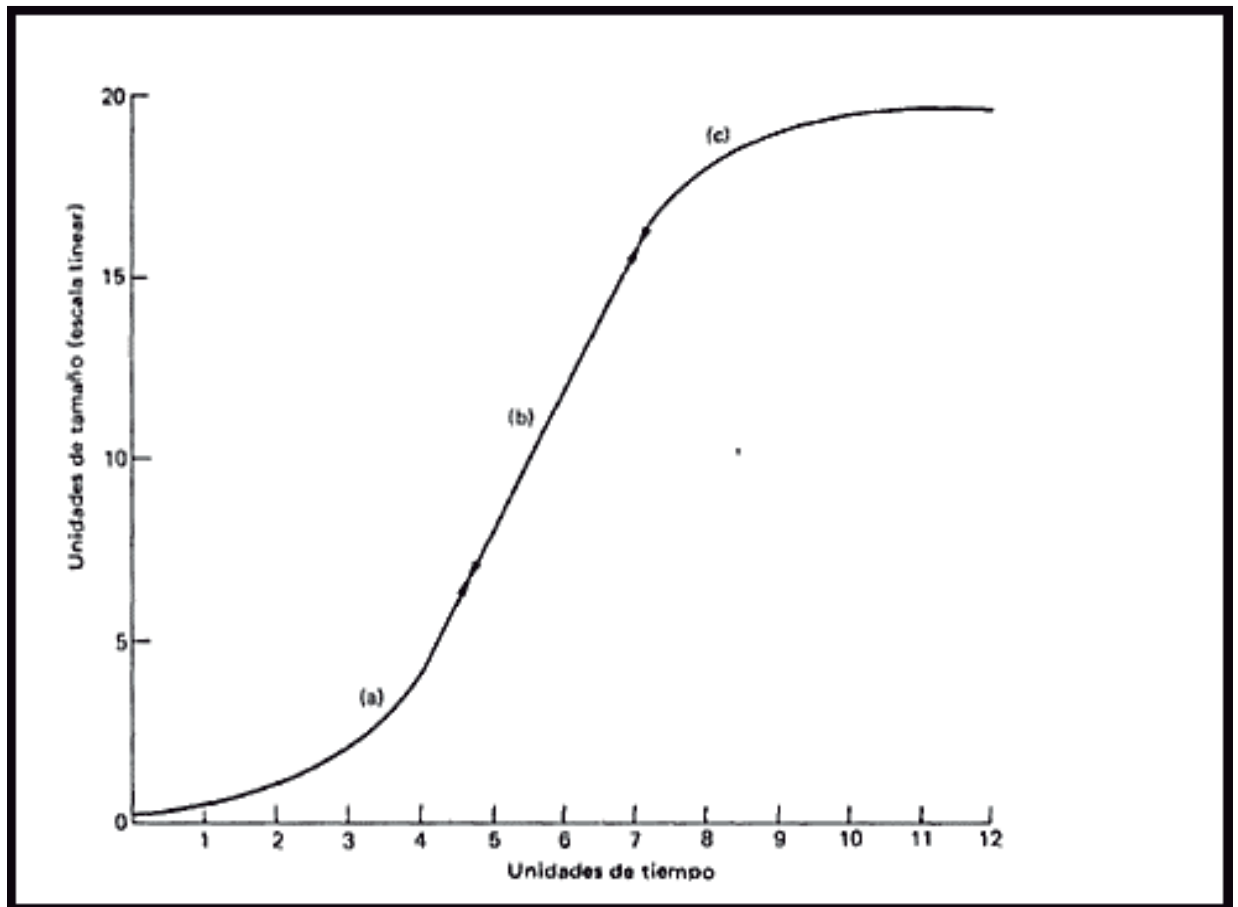


Figura N°01: Crecimiento representado por la curva sigmoidea. En la que se diferencian las fases: exponencial (a), lineal (b) y de senescencia (c)
FUENTE: Bidwell (2000).

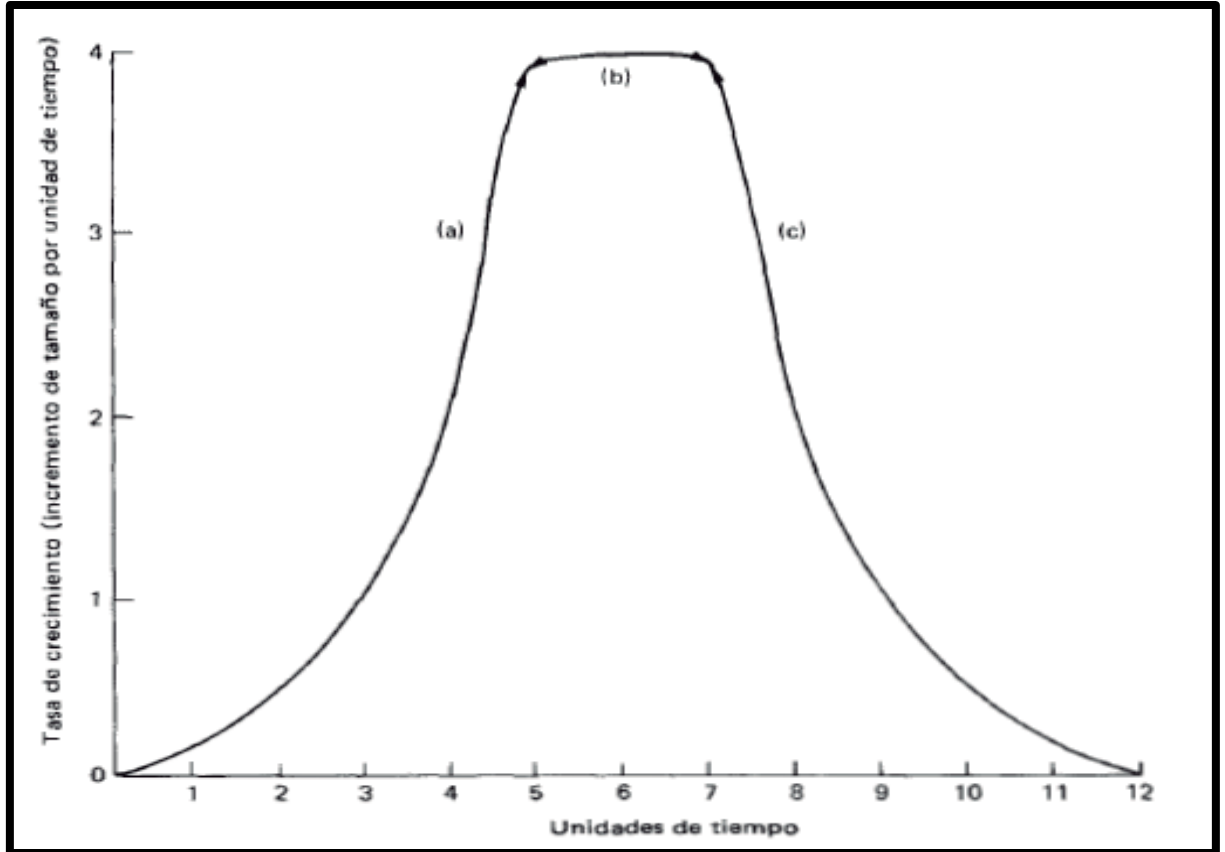


Figura N°02: Tasa de crecimiento representado por una curva acampanada. En la que se diferencian las fases: exponencial (a), lineal (b) y de senescencia (c)

FUENTE: Bidwell (2000).

La curva de crecimiento formada en la tasa de crecimiento se separa en tres fases: fase exponencial en el cual el crecimiento se eleva sin parar, fase lineal donde el crecimiento es constante y fase de senescencia donde el crecimiento decae hasta cero (Bidwell, 2000).

En la curva sigmoidea la primera fase se llama fase de retardación donde se acontece una pérdida de masa resultado de la germinación. En la fase logarítmica se presenta un desarrollo acelerado y lineal. Y en la fase de senescencia el crecimiento se va deteniendo poco a poco. (Barrera *et al.*, 2010)

1.4. Sustrato

La palabra sustrato, utilizada en la generación de plantas en vivero, hace referencia al material sólido, distinto al suelo, de procedencia natural o sintética, mineral u orgánico que hace que los individuos tengan un anclaje; ya sea que este participe o no en la fase de nutrición del individuo (Pastor, 2000; Picón, 2013).

Abad, citado por Pastor (2000) y Picón (2013), explica que la producción de individuos en envases dista en relación a la producción de individuos en tierra firme. En la producción de individuos en envase la cantidad de sustrato es limitada y los individuos tomarán de él diferentes nutrientes, así como el oxígeno y el agua.

La Tabla N°01 muestra discordancias entre las características que posee el sustrato de un envase y del suelo en un ambiente libre.

Tabla N°01: Discordancias entre el ambiente de la zona radicular de un individuo que crece un envase y en suelo abierto

Factor	Envase	Suelo
Aireación	De baja a alta por día	Generalmente alta
Nutrición	Por semana disminuye de un nivel alto a bajo	Disminuye progresivamente hasta un nivel bajo
pH	Varia hasta en 2 unidades por 3 semanas	Es constante la mayoría del tiempo
Retención de humedad	Dependiendo del envase pasa a marchitamiento entre 1-3 semanas	Dependiendo de la Capacidad Campo pasa a marchitamiento entre 1-3 semanas
Salinidad	Puede ocurrir problemas crónicos desde la primera semana	Se va incrementando hasta llegar a un nivel alto en toda la temporada
Temperatura	Cambios de 10 a 30 °C en un día	Es constante la mayoría del tiempo

FUENTE: Bowman y Paul, mencionados por Cabrera (1999).

1.4.1. Propiedades físicas de los sustratos

Burés (2002), explica que, desde enfoque físico, los sustratos deben contribuir con dos propiedades vitales: una alta capacidad de retener de líquidos y alta capacidad para la circulación del aire.

Las características físicas principales de un sustrato son:

1.4.1.1. Granulometría

Gallo y Viana, mencionados por Picón (2013), afirman que las características físicas dependerán del comportamiento y las dimensiones de las partículas del sustrato; en especial la circulación de aire, la densidad aparente y la disponibilidad de agua.

Se aconsejan una granulometría mediana o gruesa, con un tamaño de partículas en un rango de 0,25 a 2,6 mm de diámetro, que originen orificios en un rango de 30 a 300 micras, esto crea una apta capacidad de retener agua y una adecuada circulación de aire (Alvarado y Solano, 2002).

1.4.1.2. Porosidad

Picón (2013), explica que la porosidad es el espacio del sustrato formado por las partículas; este espacio es ocupado por aire o por agua. Según Nuez, nombrado por Picón (2013), los poros se clasifican en dos tipos:

- Poros no capilares o macroporos, tienen diámetros mayores a 30 micrómetros, que después del drenado del sustrato son desocupados.
- Poros capilares o microporos, tienen diámetros menores a 30 micrómetros, que retienen agua en forma de película sobre las partículas del sustrato luego del riego.

García, nombrado por Picón (2013), propone ciertas cifras para la porosidad: una porosidad total del 85%; la porosidad del aire en un rango de 10% a 30% y la porosidad de agua en un rango de 20% a 30%.

1.4.1.3. Densidad aparente

La densidad del sustrato es determinada tomando en cuenta su porosidad; para esto, se conforma un indicador de la porosidad y su simplicidad para el transporte y manejo (Picón, 2013).

Se sugiere por lo general que la densidad aparente sea muy baja, ya que no permite el asentamiento del individuo, tampoco que sea muy elevada ya que ello no facilitaría su transporte y manejo (Alvarado y Solano, 2002).

1.4.2. Propiedades químicas de los sustratos

Las características químicas identifican su reactividad y son determinadas por los elementos que componen el sustrato (Pastor, 2000).

También menciona que las características químicas del sustrato incluyen:

- El número de nutrientes que disponen.
- La simplicidad en la que se encuentran disponibles los nutrientes para los individuos.
- La velocidad en que los nutrientes son liberados para los individuos.

Las propiedades químicas de los sustratos son:

1.4.2.1. Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La capacidad de intercambio catiónico o CIC es el conjunto de cationes intercambiables que tienen la posibilidad de ser captados por el sustrato (Picón, 2013).

La CIC es la encargada de mantener los micronutrientes en el sustrato, por lo tanto, es la responsable de que los individuos tengan lo necesario para subsistir por tiempos prolongados (Cabrera, 1999).

Cabrera (1999), explica que, a poca solubilidad de los nutrientes, menor será su disposición a ser lixiviados, eso hará que su tiempo de disponibilidad se prolongue.

1.4.2.2. pH

El pH en el sustrato regula la disposición de los nutrientes para los individuos y va a depender de la especie de la planta la influencia de este (Alvarado y Solano, 2002).

De acuerdo a Picón (2013), si los escenarios de acidez o alcalinidad son extremos, el crecimiento de los individuos disminuye de forma pronunciada.

1.4.2.3. Relación carbono nitrógeno (C/N)

Picón (2013), menciona que una asociación C/N menor a 20 es considerada perfecta para la planta en sustrato, pero por lo general se sugiere un valor de entre 10 a 12. Si esta es superada, el nitrógeno presente en el sustrato será usado primero por los microorganismos que por la planta; como consecuencia, el cultivo mostrará insuficiencia de nitrógeno.

1.4.2.4. Conductividad eléctrica

Bures (2002), señala de forma aproximada que la densidad de sales en el sustrato es determinada por la cantidad de sales diluidas (mg/l o ppm) o generalmente, por la aptitud que tiene en dirigir la corriente eléctrica (mS/cm o μ S/cm) (Picón, 2013).

De acuerdo a Picón (2013), el crecimiento de un individuo sufre un atraso por causa de la salinidad; sin embargo, hay partes que se ven afectadas en mayor medida y otras en menor medida. La parte aérea de la planta es la que comúnmente se ve afectada.

1.4.3. Propiedades biológicas de los sustratos

Las propiedades biológicas derivan mayormente si existe materia orgánica en descomposición (Burés, 2002).

Cabrera (1999), menciona que la materia orgánica fomenta la mejora especialmente las características físicas y químicas del suelo preparado; como por ejemplo la aptitud de retener agua, la densidad aparente, la capacidad de intercambio catiónico y la porosidad de aire.

1.5. Especies estudiadas

1.5.1. *Ceiba trichistandra* (A.Gray) Bakh (1924)

Descripción taxonómica:

Reino: Plantae
División: Magnoliophyta
Clase: Magnoliopsida
Orden: Malvales
Familia: Malvaceae
Género: *Ceiba*
Especie: *trichistandra*

Sinónimos botánicos: *Eriodendron trischistandrum* A.Gray

Nombre Común: Ceibo

Especificación general: Especie caducifolia con hojas digitadas, alternas; 5 a 9 foliolos articulados; peciolo peltado, haz glabro, consistencia papiracea a membranosa, limbo abovado, entero, ápice acuminado, base entre aguda y atenuada, estipulas axilares caducas. Tronco abombado, de coloración verde claro, una altura de hasta 35 m y llega a los 3,18 m de diámetro y, diámetro de copa de hasta 20 m.; con aguijones cónicos, las raíces tablares, ramas gruesas, copa redonda o aparasolada. Ramitas terminales verdes y glabras. Flores solitarias o en racimos, pétalos blancos velutinosos; el tubo estigmal se divide en 5 grupos de 3 estambres cada uno, anteras versátiles; cáliz carnoso y rojizo. Frutos tipo cápsulas pendulosas, obovoides glabras por fuera, de 7-8 cm. de diámetro, 15-17 cm de largo, semillas de 1cm. de grosor.

Dispersión: La especie se encuentra en los países de Ecuador y Perú. Siendo en Perú encontrada en los departamentos de Tumbes y Piura en la RBNO

Ecología: En la RBNO está extensamente repartido en las zonas de vida de bosque seco-Tropical (bs-T), bosque muy seco tropical (bms-T) y bosque seco premontano tropical (bs-PT), monte espinoso pre-montano tropical. (mte-pmT), monte espinoso tropical (mte-T). Dispersado en un rango de 80 a 800 msnm. En los meses marzo a mayo aparecen los botones, la floración se produce en los meses de abril y mayo, y la fructificación comienza en los meses de mayo a julio, después de dos meses de maduración, los frutos se abren (INRENA, 2006).

1.5.2. *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch (1872)

Descripción taxonómica:

Reino: Plantae
División: Magnoliophyta
Clase: Magnoliopsida
Orden: Sapindales
Familia: Burseraceae
Género: *Bursera*
Especie: *graveolens*

Sinónimos botánicos: *Amyris caranifera* Willd. ex Engl.; *Bursera penicillata* (DC.) Engl.; *Bursera tacamaco* Triana & Planch.; *Elaphrium graveolens* Kunth basónimo; *Elaphrium pubescens* Schltld.; *Elaphrium tatamaco* Tul.; *Spondias edmonstonei* Hook.f.; *Terebinthus graveolens* (Kunth) Rose.

Nombre Común: Palo Santo.

Especificación general: Especie caducifolia de hojas imparinnadas y alternas, agrupadas al final de las ramitas, con 2 a 4 pares de foliolos membranaceos, glabros, lanceolados, oblongos a ovado-oblongos, generalmente de 3 a 9 cm. de largo, borde crenado-aserrado, ápice y base aguda, sésil; con raquis alado. De estatura pequeña a mediana, llegando hasta los 11 m. de altura, tronco cilíndrico, copa globosa, con corteza externa lisa con olor a incienso, de coloración morado grisáceo a marrón cenizo, con lenticelas distribuidas. Flores en panícula, al extremo de las ramas, pequeñas, bisexuales, verde blanquecino. Fruto drupa abayado, de color verde rojizo, aovada de aproximadamente 1 cm. de largo, con tres ángulos, dehiscentes y glabra. Semilla aovada, con testa membranosa.

Distribución: Oriundo de Yucatán, México y llega hasta Ecuador y Perú. Siendo en Perú encontrada entre los 200 a 1200 msnm, en los

departamentos de Cajamarca, Lambayeque, Piura, Tumbes, Huánuco y Huancavelica.

Ecología: Se encuentra en bordes de quebrada, montañas bajas y medias de los 100 a 3500 msnm., bosque, casi restringido a lugares secos y pedregosos. Bosque subxerofítico de la costa norte peruana. En la RBNO se le encuentra en las zonas de vida: matorral desértico-Premontano Tropical (md-PT), monte espinoso-Tropical (mte-T) y monte espinoso pre-montano tropical (mte-pmT) (INRENA, 2006).

1.6. Biocarbón

Es el resultado de la transformación térmica de elementos orgánicos donde se restringe suministración de oxígeno, a temperaturas inferiores a los 700 °C (Escalante *et al.*, 2016).

1.6.1. Estructura química

Novak *et al.*, (2009) citados por Escalante *et al.* (2016), menciona que la pirólisis comprende una serie de reacciones relacionadas a la separación de los componentes del material orgánico, como son la celulosa, la hemicelulosa y la lignina. Su degradación térmica está en un rango de 250 a 350 °C, producto de esto se generan a diversos compuestos volátiles como: vapores de agua y alquitrán, hidrocarburos, ácidos, H₂, CH₄, CO y CO₂; resultando una base de carbono amorfo y rígido.

Schahczenski (2010) mencionados por Escalante *et al.* (2016), indica que ciertos autores creen que la constitución química del biocarbón es bastante semejante al carbón elaborado con el fin de ser combustible, donde lo único que los diferencia es el propósito para el que fueron elaborados. No obstante, el biocarbón muestra relaciones O/C mayores al carbón mineral (Major, 2011).

1.6.2. Estructura físicas-químicas

De acuerdo a Escalante *et al.*, (2016), Con relación a sus propiedades físicas, es un sólido carbonoso, de coloración negra, con el exterior intrincado y desorganizado, y sus propiedades estructurales dependen únicamente de la pirolisis realizada.

Lehmann (2007) citado por Escalante *et al.* (2016), menciona que el biocarbón está formado por partículas de distintas dimensiones y está vinculado al origen y dimensión de la materia prima. La porosidad que ostenta es elevada en micro, meso y macroporos, y sus tamaños se encuentran entre <2 nm, 2-50 nm y >50 nm respectivamente (Downie *et al.*, 2009; Rouquerol *et al.*, 1999). Los macroporos proceden de las zonas inherentes del material original. Los microporos se producen en la pirólisis, de manera que, al incrementar la temperatura, la microporosidad aumenta, asimismo producen mayor área de carga reactiva.

De acuerdo con Kishimoto y Sugiura (1985) mencionados por Escalante *et al.* (2016), en general el biocarbón manifiesta una elevada área superficial, entre 200 y 400 m²/g. Y que, en ocasiones, han superado los 1000 m²/g, esto es importante porque genera impacto sobre la aptitud de retención nutrientes y líquidos (Downie *et al.*, 2009). No obstante, debe tener en cuenta que el biocarbón sufre modificaciones químicas y estructurales mientras envejece, en otros términos, con el tiempo se cambian sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Cheng y Lehmann, 2009).

Investigaciones de caracterización de biocarbón lograron reacciones de pH en el que va de ácido a alcalino, teniendo un promedio de pH 8,1 y con un margen de pH de 6,2 a 13 (Chan y Xu, 2009; Srinivasarao *et al.*, 2013).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es bastante cambiante y varía en un rango que va unidades hasta 40 cmol/kg resultado de su química superficial. Posteriormente cambia luego de su aplicación a los suelos por

efecto de su reacción con el entorno. Está comprobado que la CIC llega a valores bajos cuando se emplean bajas temperaturas en la pirólisis y se intensifica de modo significativo a temperaturas más altas (Lehmann, 2007).

1.6.3. Proceso de fabricación del biocarbón

1.6.3.1. Materias primas

De acuerdo a Escalante *et al.* (2016), las materias primas utilizadas para producir biocarbón son diversos. La cualidad que debe ser primordial para elegirla es que la materia prima no rivalice con otros usos, esencialmente si éstos originan bienes o servicios con un valor económico superior al biocarbón. Entre las materias primas con mayores menciones en estudios tenemos a los residuos de cosecha, plantas secas, biomasa de árboles, desechos de papel, de arroz; los residuos de aceituna, desechos orgánicos urbanos.

1.6.3.2. Procesos para la obtención de biocarbón

Escalante *et al.* (2016), menciona que estos procesos son variados, especialmente se contemplan técnicas termoquímicas para convertir la materia prima en fuentes de energía renovable. Están agrupadas en cuatro categorías generales: pirólisis lenta, pirólisis rápida, pirólisis ultrarrápida y gasificación (Laird *et al.*, 2009; Brick 2010; Ippolito *et al.*, 2011). Brick (2010), plantea una quinta categoría conocida como carbonización hidrotérmica.

Básicamente la pirólisis implica exponer biomasa a temperaturas mayores a 400 °C en privación de oxígeno. Al emplearse una tecnología de alta eficiencia, conseguir rendimientos de masa aproximadamente de un 30-40% (base húmeda) es posible, llegando a una producción de energía de alrededor del 30% (almacenada

dentro del biocarbón) y valores de carbono fijado superiores al 90% de la materia prima (McHenry, 2009).

Pirólisis lenta: Escalante *et al.* (2016), explica que se identifica por periodos de calentamiento de la materia orgánica acompañados, temperaturas bajas y prolongados tiempos de residencia de los sólidos y el gas. Conforme al sistema, los periodos de calentamientos son cercanos a 0,1 a 2 °C por segundo y predominan temperaturas cercanas a los 500 °C. El tiempo de residencia que puede pasar el gas esta alrededor de 5 segundos, mientras que la materia orgánica puede pasar de minutos a días (Sadaka, 2007). Según Gheorghe *et al.* (2009) este sería el procedimiento con el mejor rendimiento de biocarbón.

Pirólisis rápida: Escalante *et al.* (2016), menciona que el calor supera a 200 °C por segundo y la temperatura que predomina es habitualmente superior a los 550 °C. Por el corto tiempo de residencia del vapor, la producción es de excelente calidad, especialmente los líquidos (Czernik y Bridgwater, 2004; Farag *et al.*, 2002; Sadaka, 2007).

Pirólisis ultrarrápida: Sadaka (2007) y Demirbas (2009) citados por Escalante *et al.* (2016), mencionan que este proceso se identifica porque las temperaturas en las que se realiza este procedimiento son moderadas (400-600 °C) y las tasas de calentamiento son rápidas (>2 °C/s). Los tiempos de residencia del vapor normalmente son inferiores a 2 segundos. Este proceso logra que los productos aceitosos tengan su mejor rendimiento (75 y 80%).

Gasificación: McLaughin *et al.* (2009) mencionados por Escalante *et al.* (2016), mencionan que en este procedimiento la biomasa se calcina en dos reacciones de una cadena. La primera es la transformación de la materia prima a carbón la cual se le conoce

carbonización mediante gas. Luego que se produce el carbón, la segunda reacción, con mayor temperatura, transforma el carbón a ceniza y es nombrada gasificación de carbón.

Carbonización hidrotérmica: Escalante *et al.* (2016), habla que esta técnica consta en emplear calor a biomásas con mucha cantidad de líquido, como lodos residuales, pulpa de café, estiércoles, algas, entre otros, que son sumergidos en agua, y si bien la temperatura es elevada, no alcanza la ebullición. También, como no es obligatorio secar la materia prima para producir el biocarbón, se produce un ahorro de energía considerable y por tanto el coste de elaboración disminuye.

CAPITULO II: ANTECEDENTES

Gilces, (2014) demuestra que la adición del biocarbón preparado a partir de sarmientos y cenizas procedentes de una caldera de biomasa mejoran las características químicas e incrementa la reserva de fósforo aprovechable en suelos cultivados con lechuga. La presencia de cenizas y biocarbón aumentaron los niveles de pH, mejorando las condiciones en caso de suelos ácidos. Sin embargo, en suelos básicos y neutros, este incremento no comprometió el resto de características observadas como la conductividad eléctrica, respiración del suelo y carbono y nitrógeno total. A pesar del efecto contraproducente del biocarbón en extracto acuoso en proporción 1:10 sobre la tasa de germinación de lechuga y crecimiento de la raíz, su conducta al mezclarse con sustratos resulta beneficioso, incluso en dosis elevadas, en lo que favorece su contribución de nutrientes y a un mayor aumento de la radiación solar absorbida gracias a su coloración oscura.

Olmo, (2013) concluye que la adición de biocarbón producido a partir de los restos de poda de olivo en el campo permitió que el cultivo de trigo duro creciera más rápido que en el campo control y en el que se observó un mayor desarrollo de la espiga antes de los meses secos. Para la cosecha final se constató que las parcelas que estaban tratadas con biocarbón tuvieron un mejor rendimiento sobre las parcelas control. Los efectos positivos en el crecimiento y producción del cultivo de trigo duro generados por la adición de biocarbón fueron originados por cambios en las características del suelo como la reducción de la compactación y aumento de la capacidad de retención hídrica. Sin embargo, el efecto del biocarbón que se produjo en la raíz no fue tan significativo, observando un minúsculo aumento en su longitud específica y una reducción en la densidad tisular.

Hojah, (2013) señala que la adición biocarbón producido a partir de madera de melina a suelo de los cultivos de cacao mejora la compactación, reduciendo valores de densidad aparente. La adición al suelo de la combinación de biocarbón y gallinaza es más significativo que la adición de biocarbón solo. La combinación de biocarbón y gallinaza aumento la disponibilidad de N, Ca, P y K en el suelo. En suelos ultisol se presentaron mejoras en las características de pH, acidez, C, MO y C/N. La

combinación de biocarbón con gallinaza generó un aumento en el peso húmedo de semillas por fruto en la producción de cacao. En la etapa de vivero se obtuvieron resultados estadísticamente significativos en el diámetro de cuello y crecimiento en altura en las plántulas de cacao que en sus suelos se adicionaron biocarbón y gallinaza. En resumen, la aplicación de la combinación de biocarbón y gallinaza resultó ser el tratamiento con mejor resultados en crecimiento de plántulas, peso húmedo de semillas y mejoramiento en las características del suelo.

Ojo *et al.*, (2016) señalan que la preparación de sustratos con tres tipos de biocarbón que utilizaron como materia prima cáscara de yuca, maleza y bambú influyen en el crecimiento y desarrollo de plántulas de *Mansonia altissima* en etapa de vivero. En el estudio tuvo 4 tratamientos, donde T0 (control) está hecho de tierra vegetal, T1 es hecho de 50 g de biocarbón de maleza + 2 kg de suelo degradado, T2 está hecho de 50 g de biocarbón de cáscara de yuca + 2 kg de tierra degradada y T3 elaborado a partir de 50 g de biocarbón de bambú + 2 kg de tierra degradada. El ensayo mostró que T2 obtuvo los mejores parámetros en altura (23,4 cm), diámetro del vástago (6,8 mm) y producción de hoja (10,2). T0 obtuvo el rendimiento más bajo en altura y diámetro de vástago con 13,88 cm y 4,8 mm respectivamente. Sin embargo, estos valores entre los tratamientos no mostraron diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los parámetros evaluados. Se puede concluir que el sustrato elaborado con biocarbón de cáscara de yuca crecerán plántulas vigorosas y sanas en un periodo corto de tiempo.

Gundale *et al.*, (2016) Concluyen que la adición de biocarbón producido a partir de la madera y corteza de *P.sylvestris*, y en menor medida de *Picea abies* y *Betula pendula* a suelos de bosques boreales mejoran las concentraciones de NH_4 y la tasa de mineralización de N en el suelo pero no se obtuvo resultados significativos en la disponibilidad de NO_3 en el suelo, en la respiración del suelo y la comunidad microbiana después de dos temporadas de crecimiento. La adición de biocarbón no tuvo casi efecto en las propiedades de la vegetación excepto en una ligera reducción de gramíneas en la capa del suelo. El estudio de investigación sugiere que la adición de biocarbón en los bosques boreales mejora la disponibilidad de NH_4 , aumenta la

fertilidad del suelo, reduce la pérdida de nutrientes y es eficaz para el almacenamiento de C en el suelo.

Bahrún *et al.*, (2017) demuestran que la adición del biocarbón producido a partir de cáscara de vaina de cacao (CVC) tuvo resultados significativos, observándose un aumento en la humedad, temperatura y fertilidad del suelo, así como también en el crecimiento de las plántulas de cacao. La aplicación de 3 gramos de biocarbón hasta 18 gramos en un kg de suelo aumentó el CIC (45%), pH (5,7), C del suelo (284,4) y P (126,7) en comparación al control. Se observaron mejoras significativas en el crecimiento de las plántulas de cacao al adicionar el biocarbón, y el tratamiento que mejor resultados mostró fue el de 9 g de biocarbón en un kg de suelo, viendo un aumento en peso seco del brote (78,36%), área de la hoja (75,63%), número de hojas (26,62%) y altura de planta (20,99%) con respecto al control. El tratamiento que mejor resultado mostró con respecto al testigo en peso seco de raíz fue el de 6 g de biocarbón en kg de suelo, con un aumento del 47,48%. Los tratamientos que se exceden a la tasa de 6 g de biocarbón en kg de suelo mostraron una disminución en el peso seco de raíz, mientras que los tratamientos que los que excedían a 9 g de biocarbón en kg de suelo disminuían sus valores en peso seco del brote, área de la hoja, número de hojas y altura de planta.

Hafeez *et al.*, (2017) señalan que el biocarbón producido a partir de mazorca de maíz mitiga el impacto generado por la sequía en plántulas de soja. Los tratamientos utilizados en esta investigación fueron seis, control (0 ton por hectárea sin sequía), sequía, 10 ton por hectárea, 20 ton por hectárea, sequía + 10 ton por hectárea y sequía + 20 ton por hectárea. En sequía los resultados observados en los parámetros de porcentaje de germinación, vigor de semilla, índice de estabilidad de la membrana, longitud de los brotes, el contenido de carotenoides y clorofila de las plántulas de soja bajaron significativamente con respecto al control. Se observaron un incremento significativo en las cantidades de azúcar y prolina en las plántulas de soja, así mismo la tasa de germinación y el contenido de proteínas no se observaron cambios significativos en la sequía con respecto al control. Concluyen que tanto las concentraciones de biocarbón producido a partir de mazorca de maíz de 10 ton por

hectárea y 20 ton por hectárea mitigan los efectos de estrés hídrico en plántulas de soja, pero con más eficiencia la concentración de 20 ton por hectárea.

Reyes *et al.*, (2015) en su investigación señalan el uso de 3 concentraciones de ceniza y una de biocarbón para medir su efecto en la germinación de *Acacia dealbata*, *A. longifolia*, *A. mearnsii*, *A. melanoxylon*, *Pinus nigra*, *P. pinaster*, *P. radiata*, *P. sylvestris*, *Quercus ilex*, *Q. pyrenaica*, *Q. robur* y *Q. rubra*. Las cenizas y el biocarbón que se utilizó en cada una de las especies de árboles fueron obtenidas de las hojas y ramas finas de la misma especie a excepción de la *Q. rubra* que utilizó ceniza y biocarbón de *Ulex europeus*. Los parámetros evaluados son el porcentaje de germinación, el T₅₀ y la distribución de la germinación a lo largo del tiempo (hasta 1 año). En conclusión, la respuesta de las doce especies arbóreas a la exposición de ceniza y biocarbón es diferente en cada una de ellas. En las especies *Acacia* y *Pinus* el biocarbón y las cenizas no inhiben o modifican la germinación, lo mismo pasa en tres especies de *Quercus*. Solo en la especie *Q. rubra* se observó efectos positivos del uso de ceniza y biocarbón en su germinación. El biocarbón de *U. europeus* utilizado en la especie *Q. rubra* muestra una composición química diferente a las demás muestras observándose abundante ácido benzoico y alcohol bencílico, pudiendo ser estas sustancias químicas las que estimularan la germinación.

Sun y Lu, (2014) concluyen en que la adición a suelos arcillosos de tres tipos de biocarbones producidos por paja, astilla de madera y lodos de agua residual tienen el potencial de mejorar el espacio poroso y la calidad física del mismo. Los tratamientos utilizados en el estudio fueron 0, 20, 40 y 60 g de biocarbón por kg de suelo que fueron incubados por 180 días en invernadero. Los parámetros evaluados fueron la estructura del espacio poroso, la distribución y estabilidad del tamaño de agregados y la retención de agua en los suelos con biocarbón. Se observó una mejora en la formación de macroagregados y disminución en la cantidad de microagregados en suelos que fueron tratados con biocarbón de paja y biocarbón de lodos de agua residual, evitando el sellado de la superficie y manteniendo la porosidad. Las pruebas de estabilidad de agregados mostraron que la adición de biocarbón aumentó significativamente la resistencia al apagado de los agregados y también la cohesión interna a través de la

unión carbono-mineral-partícula. La adición de biocarbón de paja aumento la disponibilidad de agua, punto de marchitez y capacidad de retención de agua, así también como la porosidad total y el volumen de macro y mesoporos. El incremento relativo de la porosidad total es de 6% entre el biocarbón y el control teniendo el siguiente orden: biocarbón de lodo de agua residual < biocarbón de astilla de madera < biocarbón de paja.

Berihun *et al.*, (2017) demuestran que la adición de dos tipos de biocarbón producido a partir de *Lantana camara* y mazorca de maíz en suelos ácidos de cultivos de guisantes de jardín mejoraron sus características químicas como el pH, fósforo y potasio disponible, nitrógeno total, y características físicas como la porosidad total, la densidad aparente, y el carbono orgánico. En este estudio se utilizaron tratamientos de 0, 6, 12, 18 toneladas por hectáreas con los dos tipos de biocarbón. Los resultados mostraron que la adición de biocarbón mejora significativamente la porosidad, la densidad aparente, la acidez intercambiable y el pH. El tratamiento de 18 toneladas por hectárea es el que obtuvo el porcentaje máximo de germinación de semillas de guisante de jardín (95,23%). La aplicación de biocarbón mejora significativamente los parámetros de peso fresco y peso seco de las raíces y brotes, la altura, número de vaina por planta, número de semillas por vaina y rendimiento de grano en el cultivo de guisante de jardín. De las dos materias primas utilizadas, el biocarbón de *Lantana camara* fue la que tuvo mejor rendimiento en todos los parámetros agronómicos, siendo las tasas de 12 y 18 toneladas por hectárea las que tuvieron mejores resultados.

Dharmakeerthi *et al.*, (2012) concluyen que el biocarbón producido a partir de madera de caucho podría ser aplicado a suelos en viveros para la producción de *Hevea brasiliensis* al no observarse ningún impacto negativo en el crecimiento de la planta, sin embargo, las concentraciones utilizadas no fueron suficiente para mostrar mejoras en los resultados de estado nutricional y crecimiento de la planta. El estudio trabajo los siguientes tratamientos: biocarbón al 1% y 2% (peso/peso) con y sin niveles recomendados de fertilizantes líquidos (FL) de Mg y N y también controles con 0% de biocarbón con y sin niveles recomendados de FL pero de K, Mg, N y P. La aplicación de biocarbón sin FL mejora un 81% la acumulación de materia seca en el suelo sobre

el rizoma de la plántula germinada en comparación al control de 0% biocarbón sin FL, pero no se observa ese efecto sobre su vástago. El tratamiento de 2% de biocarbón con FL de Mg y N mejoró un 29% en rizoma de plántula y 61% en el vástago acumulación de materia seca respecto al tratamiento control 0% biocarbón con FL de K, Mg, N y P. La combinación de Biocarbón con FL de Mg y N mejora significativamente la captación de Ca, Mg, N y P, además que reduce las concentraciones de Ca y K en las hojas de las plántulas. Las concentraciones de Mn en las hojas de las plántulas disminuyeron significativamente con la aplicación de biocarbón de 2% sin FL en el suelo.

Gul *et al.*, (2015) muestran en su estudio que los biocarbones producidos a partir de materia prima diversa en procesos de pirólisis lenta a temperaturas de 300°C a 600°C aumentan algunas propiedades físico-químicas como pH y capacidad de intercambio catiónico, y parámetros microbiológicos como estructura comunitaria de microorganismos y abundancia en numerosos suelos durante periodos breves de incubaciones en laboratorios (≥ 90 días) y en estudios de campo más largos (1-3 años). Los cambios producidos por el biocarbón en las propiedades físico-químicas y microbiológicas de suelo están relacionados a la materia prima utilizadas en la elaboración del biocarbón, la temperatura en el proceso de pirólisis y la textura del suelo. Los biocarbones producidos a partir de residuos alimenticios y estiércol promueven más la abundancia microbiana que el biocarbón hecho de derivados de la madera. Los suelos con textura gruesa en los que es aplicado el biocarbón producido en pirólisis lenta en temperaturas $>600^\circ\text{C}$ tienden a tener menor biomasa, menor actividad enzimática y menor agregación, así mismo cuando estos biocarbones interactúan con suelos arcillosos no afecta sus propiedades físico-químicas y biológicas.

McElligott, (2011) describe en su estudio los efectos de la aplicación de biocarbón en las propiedades de los suelos en bosques templados y la respuesta de la biomasa de *Populus trichocarpa* (álamo de Idaho) a la exposición a suelos con biocarbón. Para observar los efectos en las propiedades de suelos Andisol, Spodosol y Mollisol, se elaboró biocarbón a partir de biomasa leñosa con una tasa de 25 Mg por hectárea y se utilizó dos métodos de aplicación, abono de cobertura e incorporación. Los suelos

fueron incubados 30 semanas en laboratorio. El efecto en las propiedades de los suelos y la retención de nitrógeno varió de acuerdo al método de aplicación y tipo de suelo. Hubo un aumento significativo en materia orgánica, carbono del suelo y potasio disponible en todos los suelos al aplicar ambos métodos; además de disminución de amonio en Andisol y reducción de la concentración de lixiviados de amonio y nitrato en Mollisol. La aplicación de biocarbón por el método de incorporación generó el mayor incremento de potasio intercambiable en Andisol y Mollisol, y el aumento de la capacidad de intercambio catiónico; mientras que la adición de biocarbón por método de abono de cobertura incrementa significativamente el pH en Spodosol. Para observar la respuesta del crecimiento en la biomasa, se realizó un ensayo cultivando *Populus trichocarpa* (álamo de Idaho) en suelos Andisol de textura fina y gruesa en la cual se aplicaron biocarbones producidos a partir de residuos de molinos de madera dura con tasas de 25 y 50% (volumen/volumen). Se utilizó un periodo de ocho semanas para la evaluación, en donde no se observó ningún efecto en la biomasa del cultivo en ningunos de los suelos tratados con biocarbón. Se observó que a medida que la concentración de biocarbón aumentaba, la biomasa superior presentaba una tendencia no significativa a disminuir en suelos Andisol de textura fina y tendencia a disminuir la biomasa total en suelos Andisol de textura gruesa. Sin embargo, la combinación de biocarbón con fertilizantes incrementa la biomasa significativamente comparado con los suelos control no fertilizados. Los tejidos de las hojas mostraron una reducción de nitrógeno cuando se aplicaron ambas tasas de tratamiento con biocarbón.

Drake *et al.*, (2015) demuestran que el biocarbón producido a partir de la combinación de aserrín grueso de *Eucalyptus globulus* y pequeñas cantidades de estiércol de pollo (10%) tiene un efecto positivo en la reforestación de siembra directa. El estudio aplicó tasas de biocarbón de 0, 1, 3 y 6 toneladas por hectárea a los suelos en el que se reforestaron varias especies forestales por siembra directa en tres sitios al oeste de Victoria, Australia. El período de evaluación fue de 18 meses en el que se midieron cambios en la germinación y supervivencia de las especies forestales y los cambios en las propiedades químicas del suelo. Los resultados mostraron que la aplicación de biocarbón en suelos bajos en carbono incrementa significativamente el carbono total

hasta un 15,6%; también modifica el fósforo de Colwell, la conductividad eléctrica, el nitrato y nitrógeno amoniacal. La adición de biocarbón incremento el número de especies presentes y el recuento de tallos en las especies de *Eucalyptus*, pero se observó una disminución en el conteo de tallos en las especies de *Acacia*. Los resultados de esta investigación demuestran que el biocarbón tiene un efecto positivo en la reforestación, pero se requieren investigaciones dirigidas para poder observar respuestas específicas en los suelos y la relación biocarbón-suelo-planta.

Buss y Mašek, (2014) evaluaron el efecto de fitotoxicidad de biocarbones producidos a partir de pellets de madera seca que resultaron contaminados con compuestos orgánicos volátiles (COV) por re-condensación en la pirolisis sobre la germinación de *Lepidium sativum*. El estudio comparó dos muestras de biocarbones con contenido alto de COV y biocarbones con contenido bajo de COV. Las aplicaciones de biocarbón con alto contenido de COV que rondaban entre 1 a 30 g resultaban en una inhibición total de la germinación y las aplicaciones menores a 1 g terminaban en una reducción parcial. En las combinaciones de arena y biocarbón (utilizando tasas de 1, 2, 5% en peso de biocarbón), los lixiviados produjeron gran toxicidad para la germinación de *Lepidium sativum* y observando que el agua percolante disuelve los COV. La aplicación de biocarbón con bajo contenido de COV no generó un efecto tóxico en ninguna de las pruebas de germinación. Se comprobó que la combinación de los dos biocarbones mitiga la toxicidad, incrementando significativamente la tasa de germinación. Los resultados muestran que la re-condensación durante el proceso de pirólisis podría contaminar con compuestos fitotóxicos el biocarbón.

Herrera *et al.*, (2018) evaluaron el efecto de tres tipos de biocarbón producido a partir de las materias primas: coronta de maíz, cáscara de café y exoesqueleto de langostino en diferentes dosis; sobre el tiempo de germinación, % de germinación, longitud de raíz, masa de raíz, longitud de tallo, diámetro de tallo, masa de la parte aérea y masa seca de la parte aérea en la especie Sapote. Las dosis utilizadas en el estudio fueron de 0, 15 y 30 %wt de biocarbón en el sustrato. En el estudio concluyen que el tipo de biocarbón solo influyó en el tiempo de germinación, mientras que la dosis de biocarbón influyó en el aumento de masa de la parte aérea en las plántulas de la especie Sapote.

CAPITULO III: MATERIALES Y METODOS

3.1. Materiales y Equipos

3.1.1. Material experimental

- Materia orgánica residual del mercado modelo de Tumbes.
- Semillas de Ceibo y palo santo.
- Suelo de chacra.

3.1.2. Materiales, insumos y equipos de vivero

A continuación, se detallan los materiales, insumos y equipos a utilizar para la realización del estudio y determinación de variables.

- Bolsas de polietileno para almacigo de 4x7 pulgadas
- Tamiz
- Agua
- Vernier
- Palana
- Baldes
- Balanza romana de 12 kg.

3.1.3. Materiales del laboratorio

A continuación, se detallan los materiales a utilizar para la realización del estudio y determinación de variables.

- Probetas graduadas de vidrio de 50 ml, 100 ml y 500 ml.
- Pipetas graduadas de vidrio de 1 ml, 2 ml, 5 ml y 10 ml.
- Vasos de precipitación de vidrio de 50 ml, 100 ml, 250 ml y 500 ml.
- Fiolas de vidrio de 25 ml, 50 ml, 100 ml y 250 ml.
- Matraz Erlenmeyer de vidrio Kimax de 250 ml y 500 ml.
- Espátula metálica

- Embudos de vidrio
- Bureta graduada de vidrio de 25 ml y 50 ml
- Pizeta punta plana
- Tubos de ensayo de 30 ml
- Papel aluminio
- Guantes
- Gradillas
- Morteros
- Barras agitadoras magnéticas
- Tamizadores
- Placa petri
- Tijeras
- Papel toalla
- Guardapolvo
- Micropipetas Eppendorf
- Bolsas herméticas
- Bomba de succión
- Probeta de sedimentación o de Bouyoucos
- Hidrómetro ASTM-152 H de 0-60 g/l
- Termómetro calibrado en °C
- Agua destilada.
- Papel filtro
- Latas de aluminio
- Soportes universales

3.1.4. Equipos del laboratorio

A continuación, se detallan los equipos a utilizar para la realización del estudio y determinación de variables.

- Navegador de GPS

Marca: Garmin

Modelo Map 76 CSx

Error: 2 m

- Balanza analítica
Modelo: ABK – 210
Capacidad: 210 g
Precisión: +/- 0,0001 g
- Estufa
Modelo: BINDER – BI0496
- Horno mufla
Modelo: KL – 05/12
- Horno tubular
Marca: Nabertherm
Modelo: R-321B2AN
Temperatura: 1200° max.
- Agitador orbital
Modelo: GFL – 3015
- Dispensador de nitrógeno
Modelo: 32907 – 63
- Balón de nitrógeno gas (10 m³)
- Multi-parámetro
- Dispersador eléctrico

3.1.5. Reactivos del laboratorio

A continuación, se detallan los insumos a utilizar para la realización del estudio y determinación de variables.

- Hexametáfosfato de sodio (NaPO₃)₆ al 10%
- Alcohol amílico (C₅H₁₂O)
- Cloruro de calcio (CaCl₂) 1N.
- Oxalato de amonio (C₂H₈N₂O₄) al 10%.

- Cloruro de potasio (KCl) 2N.
- Hidróxido de sodio (NaOH) 1N.
- Amonio purpurate ($\text{NH}_4\text{C}_8\text{H}_4\text{N}_5\text{O}_6$), reactivo puro.
- Ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0,1N
- E.D.T.A, Ethylene dinitrilo tetraacetic acid ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{Na}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 0,02N
- Hidróxido de sodio (NaOH) 0,1N
- Cloruro de tetrazolio ($\text{C}_{19}\text{H}_{15}\text{ClN}_4$) al 0,5%
- Nitrógeno gas

3.2. Metodología

3.2.1. Obtención de la materia prima

3.2.1.1. Acondicionamiento de la materia prima a utilizar

- **Recolección de materia prima**
Se recolectaron 49,03 kg de materia orgánica en el mercado central de la provincia de Tumbes.
- **Secado de la materia prima**
La materia orgánica recolectada se puso a secar en un secador solar por un tiempo de 48 a 72 horas.
- **Molienda de la materia prima**
Las muestras seleccionadas se molieron en un triturador.

3.2.2. Producción del Biocarbón.

- **Mezclado de la materia prima con agua.**
Se usó una proporción 1/3 (materia prima/agua) para la mezcla, en las primeras cargas se pesó 200 g de materia prima y 600 g de agua en la balanza analítica. Luego se pesó 300 g de materia prima y 900 g agua. Las muestras pesadas se mezclaron en un recipiente plástico

de 1 L de capacidad y fueron mezclados con la ayuda de una espátula por un tiempo de 5 minutos.

- Acondicionamiento del sistema de carbonización para la producción del biocarbón.

Las muestras fueron colocadas en un reactor con inyección de nitrógeno en un equipo de carbonización (para conseguir una atmósfera inerte) (ver anexo N°01) a una temperatura de 600 °C, durante un tiempo de 2 horas. Luego el reactor con el material se dejó enfriar hasta al día siguiente, dejando entrar aire y manteniendo el flujo de nitrógeno. Después se retiró del reactor el material carbonizado y se pesó con precisión de 0,1 g. Luego se lavó secuencialmente con agua destilada fría.

- Secado del biocarbón obtenido

El secado del carbón se realizó en la estufa a 105 °C por un tiempo de 24 horas.

- Tamizado del biocarbón

Se tamizó el biocarbón en un tamiz de 0,75 µm de tamaño de poro (ASTM E11)

3.2.3. Caracterización del biocarbón a partir de materia orgánica residual del mercado modelo de Tumbes

Se enviaron muestras del biocarbón a la Universidad Nacional de Ingeniería para determinar características texturales, se utilizó un analizador de área superficial Micromeritics ASAP 2020. Para determinar el área a partir de las curvas de adsorción de nitrógeno (77 K) se aplicó el modelo BET. Para el área mesoporosa y para volumen de microporos se aplicó el método t -plot. Las características morfológicas se obtuvieron mediante microscopia electrónica con el equipo EVO MA 10 Zeiss. También se obtuvieron difractogramas de rayos X con el equipo Bruker

D2 Phaserand CuK α y espectro RAMAN con un sistema de microscopio confocal-espectrofotómetro. Mientras tanto en el laboratorio de análisis ambiental de la Universidad Nacional de Tumbes se realizaron las siguientes pruebas:

3.2.3.1. Humedad

Se secó la placa petri en una estufa a 80 °C durante 1 hora, para luego colocarla en el desecador. Se enfrió a temperatura ambiente y se pesó con precisión de 0,0001 g. Se colocó una muestra del biocarbón sobre la placa petri fría y se pesó con precisión de 0,0001 g. Después se llevó a la estufa a 100 °C por 24 horas. Luego se retiró de la estufa y se procedió a pesar la placa petri con la muestra de biocarbón con precisión de 0,0001 g.

A continuación, se describe la fórmula que se aplicó:

Contenido de humedad, %: $[(C - D) / (C - B)] \times 100$

B = peso de la placa petri, g.

C = peso de la placa petri además muestra de biocarbón, g.

D = peso de la placa petri además muestra de biocarbón seca, g.

3.2.3.2. Cenizas

Se secó el crisol en la estufa a 80 °C durante 1 hora. Se ubicó el crisol en el desecador. Se enfrió a temperatura ambiente y se pesó con precisión de 0,0001 g. Se colocó una muestra del biocarbón sobre el crisol y se pesó con precisión de 0,0001 g. Después se llevó a la mufla a 150 °C durante 3 horas. Luego se retiró el crisol con ceniza de la mufla. Se dejó enfriar a temperatura ambiente y luego se pesó el crisol con ceniza con precisión de 0,0001 g.

A continuación, se describe la formula a aplicar:

Cenizas totales, % $[(D - B) / (C - B)] \times 100$

B = peso del crisol, g,

C = peso del crisol más la muestra de biocarbón, g. y

D = peso del crisol más la muestra de biocarbón incinerada, g.

3.2.3.3. Determinación del pH carga cero

Se preparó una solución de nitrato de potasio 0,1 M, luego se saturó con nitrógeno gas para eliminar el CO₂ atmosférico por un tiempo de 30 minutos en agitación constante. Luego se depositó 50 ml de la solución en 10 matraces de 250 ml y se ajustó el pH para lograr 8 soluciones de entre 3 a 10, mediante el ajuste con hidróxido de sodio (NaOH) 0,1 N y ácido sulfúrico (H₂SO₄) 0,1 N. Seguidamente se depositaron 0,1 g de biocarbón de materia orgánica residual del mercado central de la provincia de Tumbes en cada matraz y se colocaron en el agitador orbital a 540 rpm por 48 horas. Finalmente se filtraron las muestras y se les midió el pH con el potenciómetro. El punto de carga cero está definido por aquel valor de pH en la que la curva pH_{inicial} vs pH_{inicial} y la curva pH_{inicial} vs pH_{final} de cruzan.

3.2.4. Recolección de semillas de las especies y suelo agrícola

Las semillas se recolectaron de árboles de las especies estudiadas que se encontraban en etapa de producción de semilla. Mientras que el suelo agrícola se trajo de zonas de cultivo de arroz, en diferentes áreas de la región de Tumbes (ver Figura N°03, N°04 y N°05).

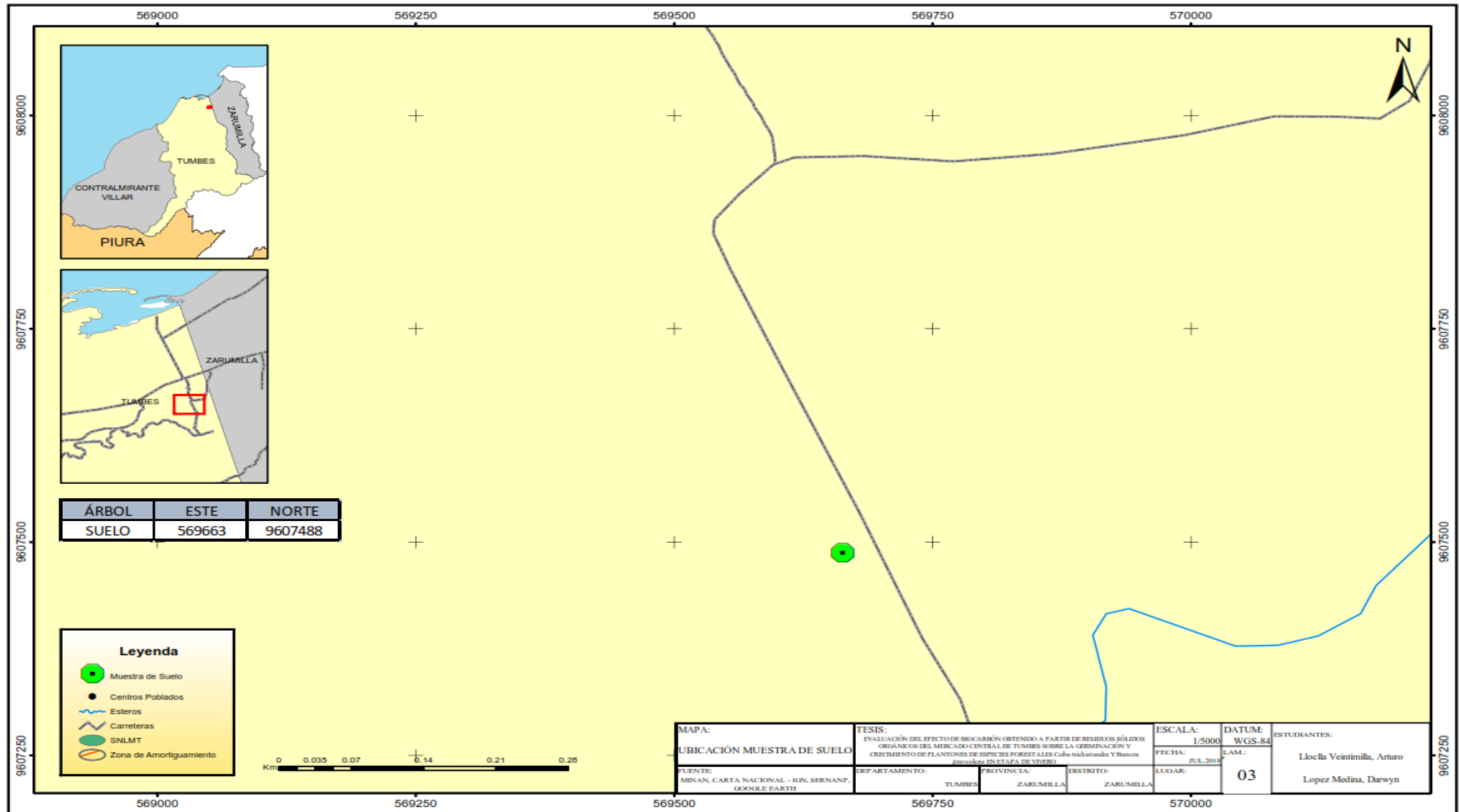


Figura N°03: Ubicación de la zona de recolección del suelo agrícola

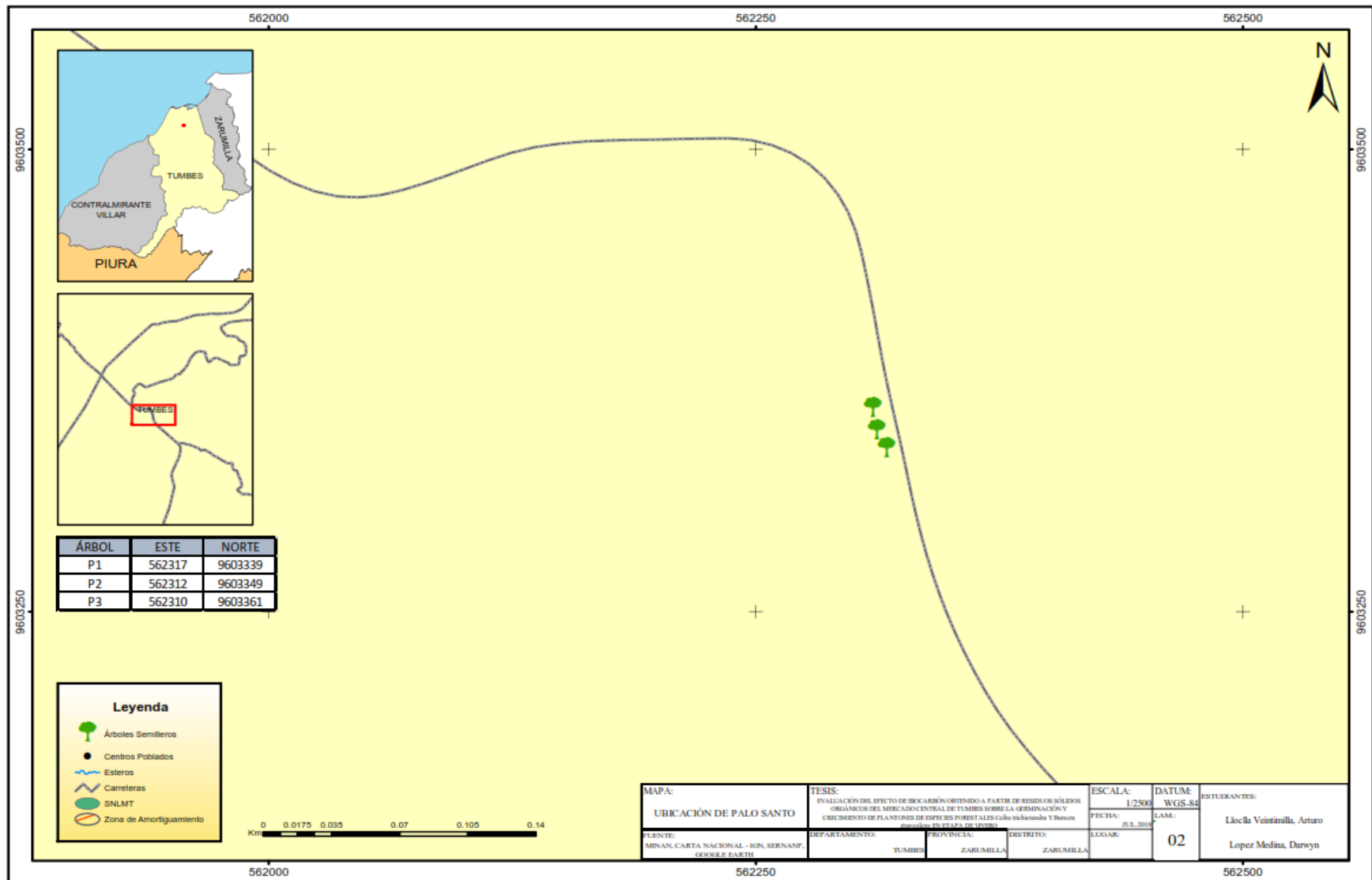


Figura N°04: Ubicación de la zona de recolección de las semillas de *Bursera graveolens*

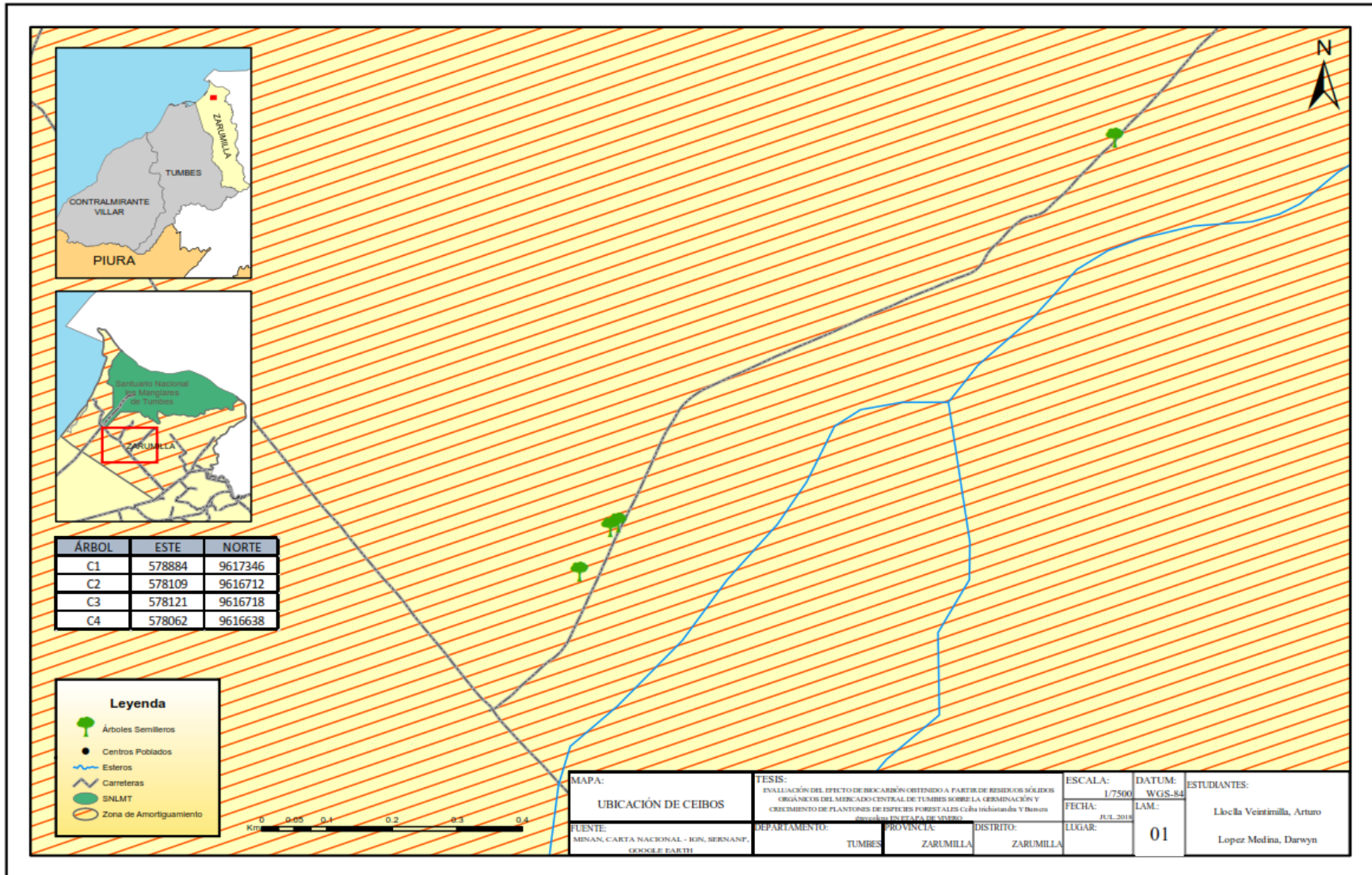


Figura N°05: Ubicación de la zona de recolección de las semillas de *Ceiba trichistandra*

3.2.5. Prueba de viabilidad de las semillas

Una vez que se recolectó semillas, se tomaron de los lotes, 60 y 30 semillas de *Ceiba trichistandra* y *Bursera graveolens* respectivamente. Luego se procedió a seguir los pasos que menciona Ruiz (2009), los cuales en resumen fueron los siguientes: Se procedió a cortar la semilla a la mitad donde se observó de manera íntegra cada cotiledón de la semilla. Se colocó en una placa Petri las semillas cortadas y posteriormente se añadió a cada semilla cortada unas gotas de Cloruro de Tetrazolio al 0,5%. Luego se cubrió con papel aluminio las placas para que no incida la luz en ellas, dejando actuar al reactivo por 48 horas. Después se procedió a evaluar, reconociendo el nivel de tinción de la semilla. Se reconocerá como semilla viable a aquella que presenta el color rojizo en la totalidad de esta. Se reconocerá como semilla parcialmente viable a aquella que presenta el color rojizo en partes de la semilla. Por último, se reconocerá como semilla no viable a aquella que no presente coloración rojiza en la misma. Se hizo el conteo de las semillas que lograron teñirse, identificando las semillas que estaban viables. Para la evaluación de esta prueba se utilizó la siguiente fórmula:

$$PV = \frac{N^{\circ} \text{ de semillas viables}}{N^{\circ} \text{ total de semillas utilizadas}} \times 100$$

3.2.6. Prueba de germinación de semillas

Se colocaron 20 y 10 semillas de *Ceiba trichistandra* y *Bursera graveolens* respectivamente en tarrinas con sustratos 0%, 5% y 10% de concentración de biocarbón, por un periodo de 28 días con riego ligeros interdiario; manteniendo la capacidad de campo del suelo y compensando la evaporación. Para la evaluación de esta prueba se utilizó la siguiente fórmula:

$$PG = \frac{N^{\circ} \text{ de semillas germinadas}}{N^{\circ} \text{ de semillas puestas a germinar}} \times 100$$

3.2.7. Preparación del sustrato

Se prepararon los sustratos a partir de tierra agrícola con sus respectivas características edafológicas (ver tabla N°13) y % biocarbón, dividiéndose en tres tipos de sustrato:

- Sustrato T0 (sin biocarbón), que contiene solo la tierra agrícola.
- Sustrato T1, que contiene la mezcla de tierra agrícola y 5% de biocarbón.
- Sustrato T2, que contiene la mezcla de tierra agrícola y 10% de biocarbón.

3.2.8. Preparación de bolsas de almacigo

Se utilizaron bolsas de 4 x 7 pulgadas, las cuales fueron llenadas con los sustratos T0 (sin biocarbón), T1 (5% biocarbón) y T2 (10% biocarbón). La cantidad de sustrato que se colocó en las bolsas de almacigo es de 400 gramos; se llenaron 10 bolsas por tratamiento, lo que hace un total de 30 bolsas por especie.

3.2.9. Levantamiento de datos

La evaluación tuvo una duración de 12 semanas. Los datos de altura y diámetro se evaluaron semanalmente, mientras que los datos de longitud de raíz y área foliar se evaluaron al término de las 12 semanas. Las mediciones se hicieron de la siguiente manera:

- **Altura:** la altura se evaluó con un vernier. Para ello se colocó la base del vernier sobre el suelo a un costado de la planta y se extendió el largo del individuo junto al vernier tomando como limite el ápice. La diferencia que hay del suelo al ápice se tomó como dato de altura (adaptado de Landis et al. 1994).

- Diámetro de cuello: El diámetro del tallo se midió utilizando un vernier a un centímetro arriba del cuello de la planta (adaptado de Landis et al. 1994).
- Longitud de raíz: para este parámetro se consideró la longitud de la raíz principal de la planta extraída de su envase (bolsa de almacigo), a la cual se le removió previamente la tierra. Se utilizó un hilo para seguir la forma irregular de la raíz principal hasta su ápice y se midió con un vernier adaptando el método utilizado para la altura.
- Área foliar: se adaptó el método utilizado por Cardona *et al.* (2009), el cual estima el área en base a la masa. Para el presente estudio se procedió a hacer un molde de papel con un área de 1 cm², luego se hizo un corte de la hoja con la forma del molde y se pesó con precisión de 0.0001 g la parte cortada. Luego se pesó con precisión de 0.0001 g toda la hoja incluido la parte cortada, calculando el área foliar a través de la relación masa-área utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Área foliar} = \frac{\text{masa total de la hoja} \times \text{área del corte de la hoja}}{\text{masa del corte de la hoja}}$$

3.2.10. Evaluación del suelo y sustrato

Se realizaron evaluaciones para el suelo y los sustratos siguiendo la metodología sugerida en la guía de prácticas de edafología (Alburqueque y Alemán, 2016) de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Tumbes. Se tomaron en cuenta los siguientes factores a evaluar: pH, densidad, porosidad, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, capacidad de campo, y textura para el suelo utilizado.

3.2.10.1. Textura

Se utilizó el método del hidrómetro para determinar la textura del sustrato T0, siguiendo estos pasos:

- Se pesó 50 g de suelo y luego se trasladó al vaso de dispersión.
- Se añadió agua destilada llegando a 2/3 del volumen total del vaso.
- Se agregó 10 ml del agente dispersante (meta silicato de sodio).
- Se dispersó durante 10 minutos en el dispersador eléctrico.
- Se trasvasó la solución de suelo contenido en el vaso de dispersión a la probeta Bouyoucos arrastrando todas las partículas remanentes con el apoyo de la pizeta que contenía agua destilada.
- Se colocó cuidadosamente el hidrómetro introduciéndolo en la probeta y se enrasó con agua destilada hasta la marca más baja (1130 ml).
- Se retiró el hidrómetro y se sacudió la probeta cubriendo la boca de la probeta con la palma de la mano abierta.
- Se agregó agua oxigenada concentrada para eliminar la materia orgánica.
- Se colocó la probeta sobre la mesa e inmediatamente se introdujo el hidrómetro de Bouyoucos y hacer la lectura correspondiente a los 40 segundos.
- Se retiró el hidrómetro y se midió la temperatura de la suspensión.
- Se dejó en reposo la probeta en un lapso de dos horas al cabo de las cuales se procedió a hacer una segunda lectura tanto con el hidrómetro como con el termómetro.
- Se anotó sus resultados y se realizó las operaciones respectivas, para obtener las lecturas corregidas y los porcentajes de arena, limo y arcilla.
- Se estableció la clase de textura de la muestra de suelo utilizando el triángulo textural.

Los cálculos se hicieron a través de la fórmula de Stokes:

$$V = 2gr^2(d_p - d_w)/9n$$

Dónde: V= velocidad de caída de la partícula en cm/seg.

g= aceleración de la gravedad en cm/seg².

r= radio de partícula en cm.

dp= densidad de partícula, en promedio=2,65 g/cm³.

dw= densidad del líquido (agua)= 1,0 g/cm³.

n= viscosidad del líquido en poises (g/cm.seg) = 0,01005 a 20°C

3.2.10.2. Capacidad de Campo

Para determinar la capacidad de campo utilizamos para cada sustrato el método de la probeta, siguiendo estos pasos:

Procedimiento:

- Se colocó dentro de una probeta de 50 ml una columna de suelo de aproximadamente 40 ml.
- Se compactó dejando caer la probeta sobre la palma de la mano 5 veces desde una altura de 10 cm aproximadamente.
- Se agregó 10 ml de agua destilada colocando previamente un pedazo de papel filtro para no erosionar la superficie. Luego se quitó el papel filtro.
- Se dejó en reposos durante dos días.
- Al cabo del tiempo transcurrido, se descartó 1 cm de la superficie del suelo contenido en la probeta y se tomó un volumen de suelo aproximadamente de 20 ml y se pesó.
- Se puso a secar en la estufa por 24 horas a 105°C.
- Se sacó de la estufa, se dejó enfriar por unos minutos en el desecador y rápidamente se pesó.

- Se calculó la cantidad de humedad y se expresó en términos de porcentaje sobre suelo seco (porcentaje de humedad de capacidad de campo).

3.2.10.3. Porosidad y Densidad

Se utilizó para cada sustrato el método de la probeta (para densidad real, aparente y porosidad), siguiendo estos pasos:

- Se pesó 50 g de sustrato (valor a)
- Se colocó la muestra en una probeta de 100 ml y se distribuyó uniformemente el contenido; para tal efecto se dejó caer la probeta de una altura de 5 cm aproximadamente sobre la palma de la mano por 5 veces consecutivas.
- Se hizo la lectura en la probeta de volumen aparente (valor b)
- Se calculó el peso de un volumen de agua igual al valor b, asumiendo que 1 ml de agua pesa 1 g (valor c).
- Se calculó la densidad aparente (valor d).
- Se vació el contenido de la probeta, guardando la muestra
- Se llenó la probeta con agua destilada hasta la marca de 50 ml (valor e)
- Se añadió cuidadosamente la muestra de sustrato en la probeta y se agitó con una bagueta hasta eliminar toda burbuja de aire.
- Se hizo la lectura correspondiente a: volumen de la mezcla suelo con agua (valor f)
- Se sumó los volúmenes establecidos por separado, del agua y del suelo (valor g).
- Se calculó el volumen del espacio poroso total (valor h) que viene a ser la diferencia de los valores anteriores (g-f).
- Se calculó el volumen real (valor i) o sea el volumen de partícula sólida, que viene a ser la diferencia entre el volumen aparente y el espacio poroso total (b-h).

- Se calculó la densidad real (valor j) con la fórmula: $j = a/i$
- Se calculó la porosidad (valor k) con la siguiente formula: $k = (h/b) \times 100$

Se hizo el cálculo con las siguientes fórmulas:

$$Vr = \text{volumen real} = \frac{\text{peso}}{\text{densidad real}}$$

$$Va = \text{volumen aparente} = \frac{\text{peso}}{\text{densidad aparente}}$$

$$\text{espacio poroso} = Vr - Va$$

$$\text{porosidad} = \frac{\text{espacio poroso}}{\text{volumen aparente}} \times 100$$

3.2.10.4. pH

Se utilizó para cada sustrato el método del potenciómetro, siguiendo estos pasos:

Procedimiento:

- Se pesó 20 g de sustrato a utilizar.
- Se colocó cada muestra en un vaso de 100 ml.
- Se agregó 50 ml de agua destilada.
- Se agitó con una bagueta repetidas veces durante 30 minutos.
- Se realizó la lectura en el potenciómetro inmediatamente después de la última agitación.

3.2.10.5. Conductividad eléctrica

Se utilizó para cada sustrato el método del conductivímetro para esta prueba, siguiendo estos pasos:

Procedimiento

- Se pesó 20 g de sustrato y se colocó en un vaso precipitado.
- Se añadió 40 ml de agua destilada y se sacudió la muestra con una bagueta de vidrio por 5 min.
- Se vertió la mezcla sustrato–agua en un embudo que tenía un papel filtro anteriormente empapado y se recolectó el filtrado en un vaso limpio.
- En el filtrado, se tomó lectura de la conductividad eléctrica empleando el conductivímetro.

3.2.10.6. Capacidad de intercambio catiónico

Se utilizó para cada sustrato el método del gasto de versanato y se llevó muy cuidadosamente, para que los valores conseguidos sean significativos y representen el valor exacto de la capacidad de cambio del suelo. Siguiendo estos pasos:

Procedimiento:

- Se pesó 5 g de sustrato.
- Se colocó en Erlenmeyer.
- Se adicionó 20 ml de cloruro de calcio 1N a cada Erlenmeyer.
- Se agitó los Erlenmeyer durante 5 minutos.
- Se filtró el contenido de cada Erlenmeyer hacia vasos de 100 ml, después se desechó el filtrado.
- Se agregó 20 ml de agua destilada en los Erlenmeyer que contenía el sustrato y en los cuales haya quedado algo de residuo. Se filtró en cada embudo.
- Se repitió el lavado varias veces (2 a 3), hasta cerciorarse que no queda nada del catión saturante. Al último filtrado del último lavado, se agregó unas gotas de oxalato de amonio, para descartar la presencia de calcio retenido mecánicamente.

- Después de haber verificado que ya no existe calcio, se tomó cuidadosamente el papel filtro con el suelo y se depositó en el Erlenmeyer previamente lavado.
- Se agregó 20 ml de cloruro de potasio 2N y luego se agitó durante 5 minutos.
- Se filtró en vasos limpios y se determinó la cantidad de calcio por el método del versanato o EDTA.
- Cuantificación:
 - a) Se tomó una alícuota de 5 ml y luego se depositaron en los Erlenmeyer.
 - b) Se agregó 1 ml de hidróxido de sodio 1N, 20ml de agua destilada y una pequeñísima cantidad (pizca) de indicador purpurato de amonio.
 - c) Se tituló con versanato 0,02N hasta el cambio rojo-rosa a violeta o lila.
 - d) Se anotó el gasto del versanato.

CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1. Rendimiento de la Materia Prima para la elaboración de Biocarbón

La materia prima se caracterizó para determinar sus principales componentes. Se determinó la masa de los diversos componentes, entre los cuales se encontró diversos tipos de vegetales (tabla N°02). La mayor masa (%) estuvo constituida por tubérculos, seguido por hortalizas, frutas, maíz y otros residuos orgánicos que no se pudieron identificar por estar en un tamaño muy reducido.

Tabla N°02: Clasificación de materia prima

Materia prima	Masa (%)	Masa húmeda (g)	Masa seca (g)	Humedad (%)	Masa seco post molienda (g)
Tubérculos	38,41	18830	2965	84,25	2473
Hortalizas	31,00	15200	1348	91,13	1182
Frutas	22,03	10800	1969	81,77	1423
Maíz	7,04	3450	1040	69,86	602
Otros	1,53	750	70	90,67	70
Total	100	49030	7392		5750

En la tabla N°03 se observa las masas de la materia prima que se utilizó para producir biocarbón en los diferentes lotes producidos. El rendimiento de la producción de biocarbón en base a la materia prima seca fue de 24,4%, produciendo un promedio de 70,3 g de biocarbón por lote.

Tabla N°03: Masa (g) de ingresos de materia prima y salida de biocarbón por lote

Días	Masa (g)		Días	Masa (g)	
	Ingreso	salida		Ingreso	salida
1	200	45,8	11	300	66,1
2	200	44,7	12	300	68,4
3	300	73,9	13	300	67,7
4	300	68,2	14	300	68,4
5	300	70,7	15	300	65,4
6	300	74,6	16	300	73,2
7	300	73,3	17	300	84,4
8	300	75,1	18	300	82,9
9	300	73,9	19	300	83,0
10	250	64,7	20	300	80,9

4.2. Caracterización del biocarbón a partir de la materia prima utilizada.

En la tabla N°04, se presentan los resultados del análisis de características textural del biocarbón, en donde se reveló un área superficial relativamente baja para este tipo de materiales carbonizados. El material tuvo muy bajo volumen neto y volumen de microporos (poros menores a 2 nm).

Tabla N°04: Características y condiciones del biocarbón empleado en el estudio

Código de muestra	S_{BET} (m ² /g)	V_{micro} (cm ³ _{liq.} /g)	V_{net} (cm ³ _{liq.} /g)	V_{micro}/V_{net} (%)	HR (%)	C (%)	pH_{cc}
Biocarbón	2,90	0,001	0,005	22,33	4,49	17,78	7,988

- S_{BET} : área superficial BET (m²/g) (Brunauer - Emmett - Teller).
- V_{micro} : Volumen de microporos calculado de acuerdo a la ecuación modificada de BET (cm³_{liq.}/g).
- V_{net} : Determinación de volumen de poros por altas presiones de introducción de mercurio (cm³_{liq.}/g).
- V_{micro}/V_{net} : Volumen de poros net determinado de la adsorción de nitrógeno al máximo. p/p0 (~0.9900) (mm³_{liq.}/g).
- HR %: Humedad relativa del biocarbón.
- C %: Contenido de cenizas
- pH_{cc} : pH carga cero del biocarbón.

En la figura N°06 se observan micrografías de microscopía electrónica en donde se puede apreciar la presencia de porosidad (macroporos) con formas y tamaños diversos que están localizados en algunas partes del área de las partículas de biocarbón. En la figura N°07, el diagrama de difracción de rayos X muestra dos picos amplios asimétricos aproximadamente en 27 y 47,5 grados, los cuales estarían asignados a los planos (002) y (100) del grafito desordenado (Acharya *et al.*, 2009) y que son característicos de estructuras carbonizadas. También se observa que la muestra tiene presencias de impurezas, las cuales son reflejadas por la presencia de diferentes picos angostos en el difractograma (fase cristalina). El espectro Raman exhibe notoriamente la existencia de las bandas D y G centradas en 1340 1/cm y 1569 1/cm, este espectro es común para materiales carbonizados (Chu and Li, 2006), la banda D compete a la

banda relacionada con el desorden de la estructura gráfica, mientras que la banda G compete a la estructura gráfica.

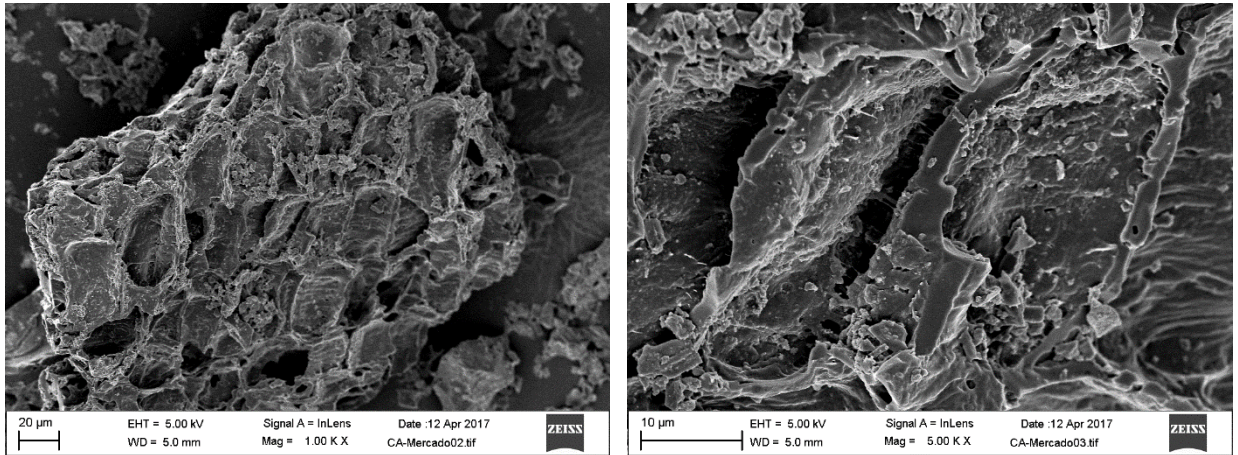


Figura N° 06: Micrografías de microscopía electrónica de la muestra de biocarbón a diferentes magnificaciones

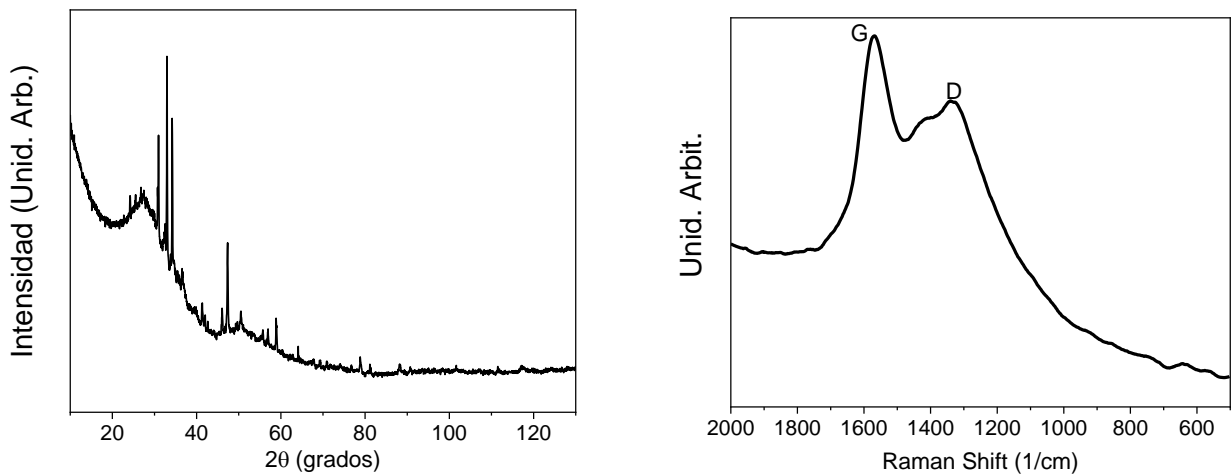


Figura N° 07: Difractograma de rayos X (Derecha) y Espectro Raman (Izquierda) de la muestra de biocarbón

4.3. Análisis de la viabilidad de *Ceiba trichistandra*

La tabla N°05 muestra los resultados de la viabilidad de 20 semillas de Ceibo durante las tres evaluaciones o repeticiones. Se observó que en las tres repeticiones se obtuvo entre 70 y 85 % de viabilidad, registrando un promedio de 77%. Esto indicó que el lote de semillas se encontraba en buenas condiciones para su uso.

Tabla N°05: Porcentaje de viabilidad de *Ceiba trichistandra*

	Unidad	Viabilidad		
		Viables	P.viables	No viables
1era repetición	%	75	25	0
2da repetición		85	15	0
3ra repetición		70	20	10

4.4. Análisis de germinación de *Ceiba trichistandra*

La tabla N°06 muestra los resultados de la germinación de 20 semillas de Ceibo durante los tres tratamientos. Se observó que tratamiento sin biocarbón (T0) se obtuvo un % de germinación de entre 30 y 45 % en las 3 repeticiones. Mientras que en los tratamientos con 5 y 10 % de biocarbón (T1 y T2) se obtuvieron valores de entre 40 y 70%.

Tabla N°06: Porcentaje de germinación de *Ceiba trichistandra*

Tratamiento	unidad	Sustrato T0 Testigo (0% biocarbón)	Sustrato T1 (5% biocarbón)	Sustrato T2 (10% biocarbón)
1era repetición	%	30	70	40
2da repetición		50	40	55
3ra repetición		45	55	70

4.5. Análisis del crecimiento de *Ceiba trichistandra*

Durante la evaluación, hubo pérdidas de individuos en los tres tipos de sustratos. En el sustrato sin biocarbón (T0) se murieron dos individuos a las 3 semanas de germinadas las plantas; en el sustrato con 5% de biocarbón (T1) se murieron tres individuos y en el sustrato con 10% de biocarbón (T2) solo hubo un individuo muerto. En ambos tratamientos las plantas murieron a las 5 semanas.

4.5.1. Altura

La tabla N°07 muestra que los individuos que se sembraron en el sustrato sin biocarbón (T0) lograron la mayor altura promedio con 16,88 cm, seguido de los individuos del sustrato con 10% de biocarbón (T2) con 16,52 cm y los individuos

del sustrato con 5% de biocarbón (T1) registraron el menor promedio con 16,33 cm al término de la evaluación, observando una diferencia con la primera medición donde los individuos del sustrato con 5% de biocarbón (T1) mostraron una altura promedio de 9,40 cm, continuando con los individuos del sustrato sin biocarbón (T0) con 9,12 cm y los individuos del sustrato con 10% de biocarbón (T2) mostraron el promedio más bajo con 8,50 cm.

Respecto al aumento en altura que se obtuvo a partir de la primera hasta doceava semana, los individuos del sustrato con 10% de biocarbón (T2) mostraron el mayor aumento promedio con 8,02 cm, continuando con los individuos del sustrato sin biocarbón (T0) con 7,76 cm y los individuos del sustrato con 5% de biocarbón (T1) con 6,93 cm.

Además, se puede apreciar que los individuos sembrados en todos los sustratos mantuvieron un ritmo de crecimiento promedio en altura mayor a 1,5 cm/semana hasta la tercera semana. De la quinta semana hacia adelante, el crecimiento en altura se mantuvo por debajo de 1,0 cm/semana.

Tabla N°07: Altura de las plantas de *Ceiba trichistandra*

		Unidad	Sustratos		
			Sustrato T0 (Testigo) (0% biocarbón)	Sustrato T1 (5% biocarbón)	Sustrato T2 (10% biocarbón)
Semanas	1	cm	9,12	9,40	8,50
	2		11,89	12,55	11,05
	3		14,14	14,10	13,16
	4		15,63	15,00	14,75
	5		16,24	15,59	15,26
	6		16,57	15,95	16,03
	7		16,70	16,07	16,24
	8		16,75	16,14	16,31
	9		16,78	16,17	16,37
	10		16,83	16,24	16,42
	11		16,87	16,31	16,47
	12		16,88	16,33	16,52

En los gráficos N°01 y N°02 se puede identificar la fase de crecimiento exponencial de las plantas. Esta se ubicó en la primera semana de crecimiento de los individuos. Desde la segunda hasta la sexta semana se reconoce la fase de crecimiento lineal de los individuos. Y finalmente, desde la séptima semana se identifica la fase de crecimiento senescente.

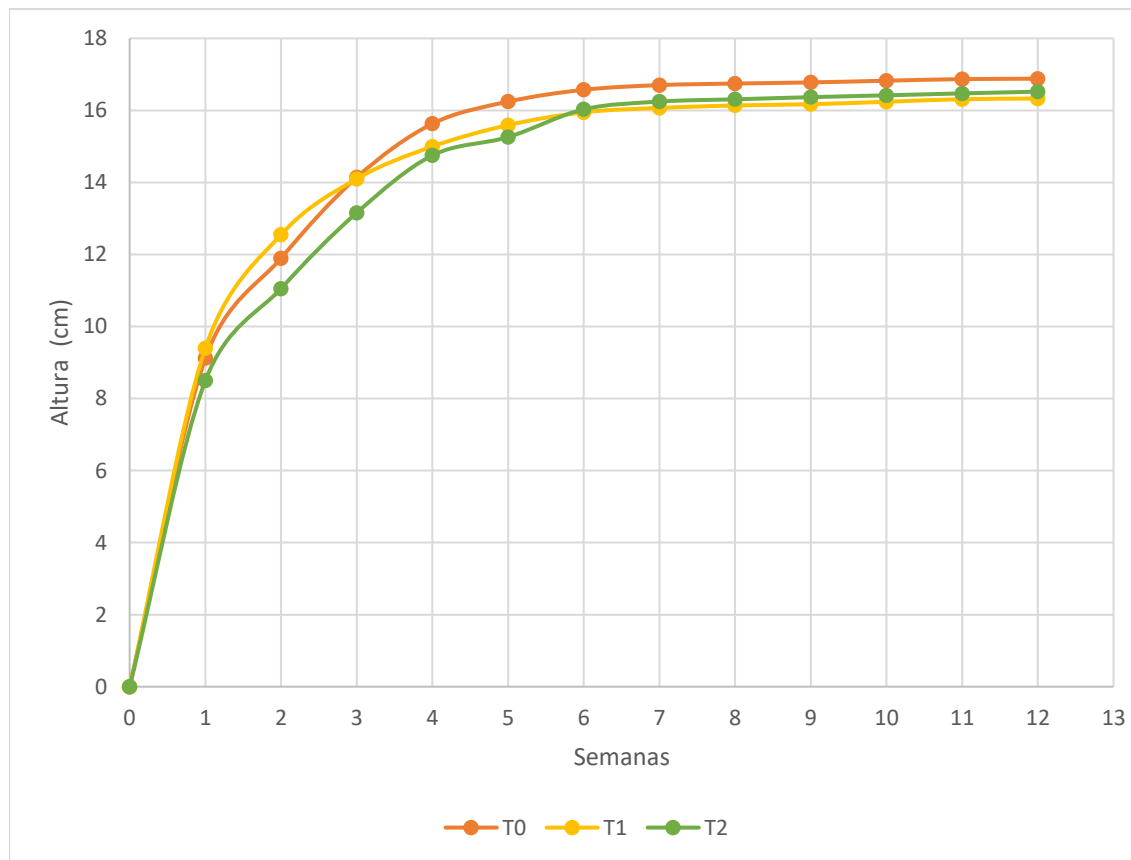


Gráfico N°01: Altura de las plantas de *Ceiba trichistandra* durante 12 semanas

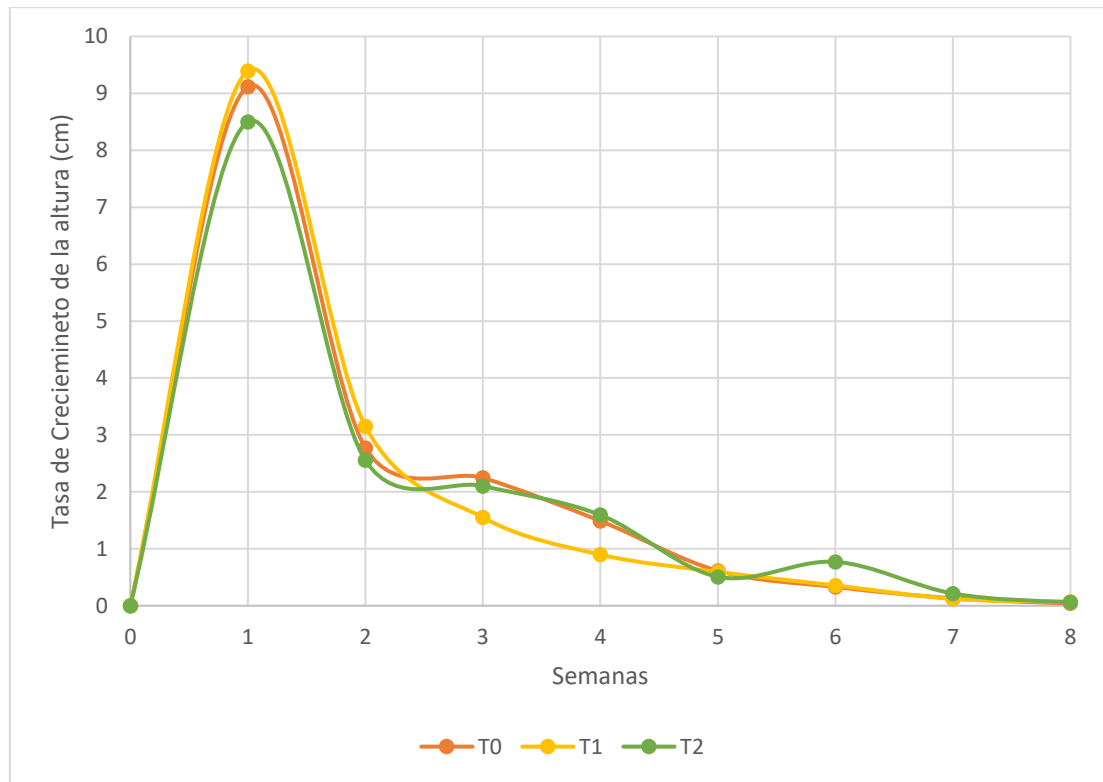


Gráfico N°02: Tasa de Crecimiento de altura de *Ceiba trichistandra* (cm/semana)

En el análisis de varianza mostrado en la Tabla N°08 se determinó que no existió diferencia significativa en la altura de los individuos al usar biocarbón en los sustratos.

Tabla N°08: Análisis de varianza de la altura de las plantas de *Ceiba trichistandra*

Fuente de Variabilidad	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de cuadrados	C.V	Valor F	Valor P	Significancia
Concentración de Biocarbón	2	2,28	1,14	0,15	0,199	0,82	n.s
Error experimental	33	188,87	5,72				
Total	35	191,15					

4.5.2. Diámetro de cuello

En la Tabla N°09 muestra que los individuos que se sembraron en el sustrato con 10% de biocarbón (T2) lograron el mayor promedio en diámetro con 7,92 mm, seguido de los individuos del sustrato sin biocarbón (T0) con 7,76 mm y los

individuos del sustrato con 5% de biocarbón (T1) registraron el menor promedio con 7,37 mm al término de la evaluación, observando una diferencia con la primera medición donde los individuos del sustrato sin biocarbón (T0) mostraron un diámetro promedio de 3,16 mm, seguido de los individuos del sustrato con 5% de biocarbón (T1) con 3,07 mm y los individuos del sustrato con 10% de biocarbón (T2) mostraron el menor promedio con 2,90 mm.

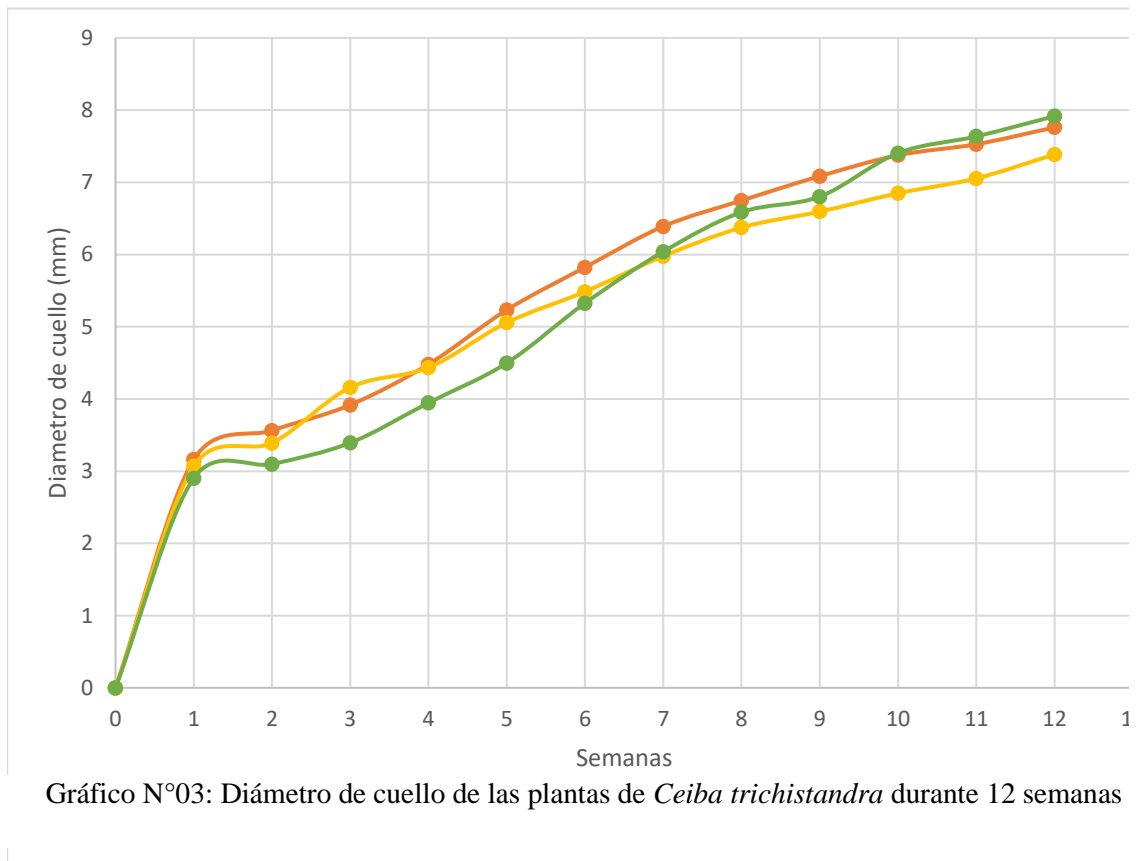
Respecto al aumento en diámetro que se obtuvo a partir de la primera hasta doceava semana, los individuos del sustrato con 10% de biocarbón (T2) mostraron el mayor aumento promedio con 5,01 mm, continuando con los individuos del sustrato sin biocarbón (T0) con 4,60 mm y los individuos del sustrato con 5% de biocarbón (T1) con 4,32 mm.

Además, se puede apreciar que los individuos de los sustratos sin biocarbón (T0) y 5% de biocarbón (T1) se mantuvieron un crecimiento ascendente hasta la quinta semana llegando a su pico de crecimiento de 0,75 mm/semana y 0,62 mm/semana respectivamente, mientras que los individuos del sustrato con 10% de biocarbón (T2) lograron mantenerla hasta la sexta semana llegando a la cifra de 0,83 mm/semana.

Tabla N°09: Diámetro de cuello de las plantas de *Ceiba trichistandra*

		Sustratos			
		Unidad	Sustrato T0 (Testigo) (0% biocarbón)	Sustrato T1 (5% biocarbón)	Sustrato T2 (10% biocarbón)
Numero de evaluación	1	mm	3,16	3,07	2,90
	2		3,56	3,39	3,10
	3		3,92	4,16	3,39
	4		4,48	4,43	3,95
	5		5,23	5,06	4,50
	6		5,82	5,49	5,33
	7		6,39	5,98	6,04
	8		6,75	6,37	6,59
	9		7,09	6,59	6,80
	10		7,38	6,85	7,40
	11		7,53	7,05	7,64
	12		7,76	7,39	7,92

En los gráficos N°03 y N°04 se puede identificar la fase de crecimiento exponencial de las plantas. Esta se ubicó en la primera semana de crecimiento de los individuos. Desde la segunda hasta la doceava semana se reconoce que es la fase de crecimiento lineal de los individuos. No se pudo observar la fase de crecimiento senescente por motivo que el periodo de evaluación no lo permitió.



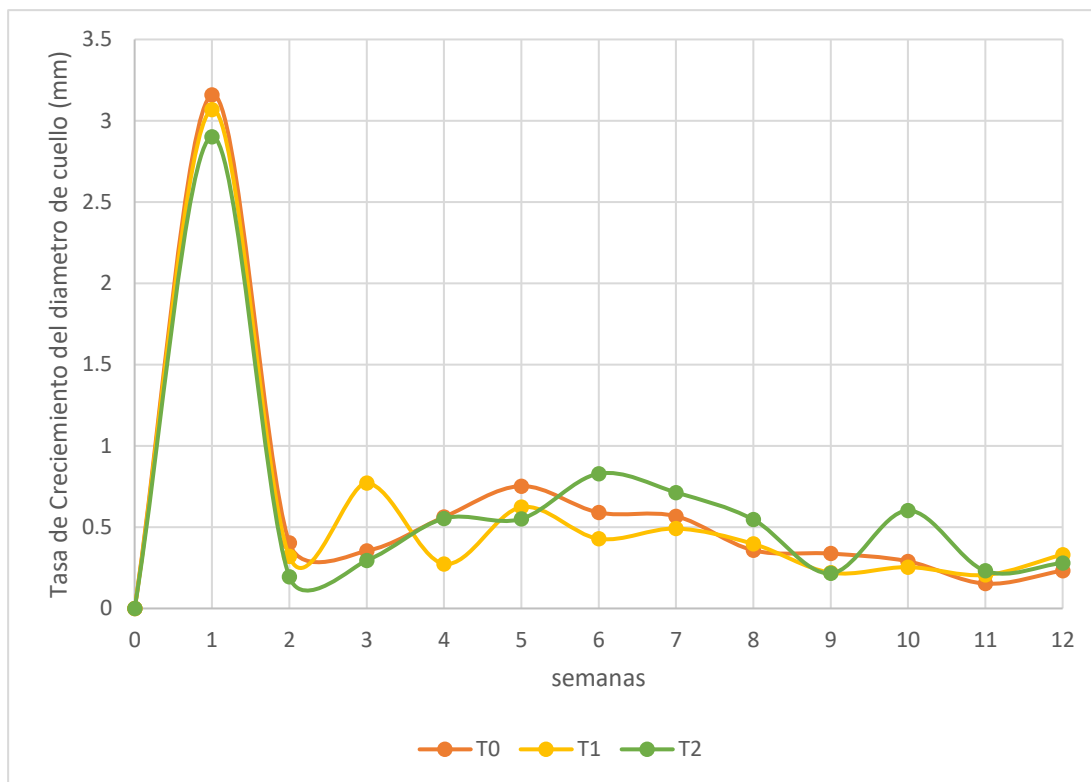


Gráfico N°04: Tasa de Crecimiento del diámetro de cuello (mm/semana)

En el análisis de varianza mostrado en la Tabla N°10 se determinó que no existió diferencia significativa en el diámetro de los individuos al usar biocarbón en los sustratos.

Tabla N°10: Análisis de varianza del diámetro de cuello de las plantas de *Ceiba trichistandra*

Fuente de Variabilidad	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de cuadrados	C.V	Valor F	Valor P	Significancia
Concentración de Biocarbón	2	0,63	0,32	0,29	0,12	0,89	n.s
Error experimental	33	90,82	2,75				
Total	35	91,45					

4.5.3. Área foliar

En el área foliar (ver Anexo N°03), los individuos del sustrato sin biocarbón (T0) registraron un área foliar promedio de 103,38 cm², seguido de los individuos del sustrato con 10% de biocarbón (T2) con 92,24 cm² y los individuos del sustrato con 5% de biocarbón (T1) presentaron el menor promedio con 81,11 cm².

Los individuos del sustrato sin biocarbón (T0) que registraron el mayor promedio de área foliar, alcanzaron un máximo de 143,69 cm² y un mínimo de 61,02 cm², observando que más del 60% de individuos superaron los 100 cm² de área foliar.

Los individuos del sustrato con 10% de biocarbón (T2) que registraron un promedio intermedio de área foliar, alcanzaron un máximo de 138,29 cm² y un mínimo de 49,88 cm², observando que menos del 50% de individuos superaron los 100 cm² de área foliar.

Los individuos del sustrato con 5% de biocarbón (T1) que registraron el menor promedio de área foliar, alcanzaron un máximo de 103,80 cm² y un mínimo de 64,39 cm², observando que menos del 30% de individuos superaron los 100 cm² de área foliar.

4.5.4. Longitud de raíz

En la longitud de raíz (ver Anexo N°03), los individuos del sustrato sin biocarbón (T0) mostraron una longitud de raíz promedio de 14,6 cm, seguido de los individuos del sustrato con 5% de biocarbón (T1) con 13,4 cm y los individuos del sustrato con 10% de biocarbón (T2) presentó el menor promedio con 13 cm.

Los individuos del sustrato sin biocarbón (T0) que registraron el mayor promedio de longitud de raíz, alcanzaron un máximo de 22,6 cm y un mínimo de 9,6 cm, observando que un 88% de individuos superaron los 12 cm longitud de raíz.

Los individuos del sustrato con 5% de biocarbón (T1) que registraron un promedio intermedio de longitud de raíz, alcanzaron un máximo de 17,5 cm y

un mínimo de 11,7 cm, observando que un 86% de individuos superaron los 12 cm de área foliar.

Los individuos del sustrato con 10% de biocarbón (T2) que registraron el menor promedio de longitud de raíz, alcanzaron un máximo de 15,8 cm y un mínimo de 11,4 cm, observando que un 67% de individuos superaron los 12 cm de longitud de raíz.

4.6. Análisis de la viabilidad de *Bursera graveolens*

La tabla N°11 muestra los resultados de la viabilidad de 10 semillas de Palo santo durante las tres evaluaciones o repeticiones. Se observó que en las tres repeticiones se obtuvo entre 50 y 70% de viabilidad, registrando un promedio de 60%. Esto indicó que el lote de semillas se encontraba en buenas condiciones para su uso.

Tabla N°11: Porcentaje de viabilidad de *Bursera graveolens*

	Unidad	Viabilidad		
		viabiles	P.viabiles	No viabiles
1era repetición	%	50	40	10
2da repetición		60	30	10
3ra repetición		70	30	0

4.7. Análisis de germinación de *Bursera graveolens*

Al término de la prueba se observó que no hubo germinación en ninguna de las tres repeticiones. Por ende, se realizó una prueba de viabilidad de las semillas para verificar si las semillas continuaban viables. Se observó que en las tres repeticiones se obtuvo entre 10 y 40% viabilidad, registrando en promedio 24% de viabilidad. En comparación a la prueba de viabilidad realizada antes de la prueba de germinación se pudo observar que la viabilidad bajo en promedio un 36%.

Tabla N°12: Porcentaje de germinación de *Bursera graveolens*

Prueba de viabilidad post prueba de germinación					
	Tratamiento	unidad	viabiles	P.viabiles	No viabiles
1era repetición	T0 (testigo)	%	30	30	40
	T1 (5% biocarbón)		20	30	50
	T2 (10% biocarbón)		20	10	70
2da repetición	T0 (testigo)		20	30	50
	T1 (5% biocarbón)		40	40	20
	T2 (10% biocarbón)		20	40	40
3era repetición	T0 (testigo)		40	60	0
	T1 (5% biocarbón)		20	10	70
	T2 (10% biocarbón)		10	10	80

4.8. Análisis de crecimiento de *Bursera graveolens*

Debido a que no hubo germinación en ninguno de los sustratos incluyendo el testigo, no se realizó ninguna evaluación para la especie *Bursera graveolens*, dando por finalizado el proyecto para esta especie.

4.9. Análisis edafológicos de los sustratos

De acuerdo con los análisis realizados en la Universidad Nacional de Tumbes (UNT), en el laboratorio de Edafología de la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA):

Tabla N°13: Características Edafológicas de los Sustratos empleados en el estudio

Sustrato	Textura	Características Edafológicas						
		pH	C. E ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	C.I.C ($\text{meq}/100\text{ml}$)	C.C (%)	D.R (g/m^3)	D.A (g/m^3)	Porosidad (%)
T0 (testigo)	Franco Arcilloso arenoso	6,64	651	14,08	25	2,38	1,22	48,78
T1 (5% biocarbón)		7,98	816	14,72	25,34	2,27	1,11	51,11
T2 (10% biocarbón)		8,77	909	15,04	29,91	2,50	1,25	50

- C.E: Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$).
- C.I.C: Capacidad de Intercambio Catiónico ($\text{meq}/100\text{ml}$).
- C.C: Capacidad de Campo (%).
- D.R: Densidad real (g/m^3).
- D.A: Densidad aparente (g/m^3).

La tabla N°13 mostró que los sustratos T0 (sin biocarbón), T1 (5% de biocarbón) y T2 (10% de biocarbón) presentaron valores en pH de 6,64; 7,98 y 8,77, los cuales calificaron como neutro, moderadamente alcalino y fuertemente alcalino respectivamente. La conductividad eléctrica se halló entre 651 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 909 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el cual califica a los sustratos como suelos no salinos. La densidad aparente se halló en un rango de 1,11 g/cm^3 y 1,25 g/cm^3 . El testigo presentó 62% de arena, 13% de limo y 25% de arcilla, ubicándose en el tipo de textura de franco arcilloso arenoso. La densidad real se encontró en un rango de 2,27 g/m^3 y 2,50 g/m^3 y la densidad aparente entre 1,11 g/m^3 y 1,25 g/m^3 . La porosidad total se encontró en un rango de 48,8 y 50%. La capacidad de campo (CC) se encontró entre 25% y 29,9%, encontrándose en el rango de valor típico de un suelo franco arcilloso el cual tiene el mejor porcentaje de humedad disponible entre todos los suelos. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se encontró entre 14,08 meq/100ml y 15,04 meq/100ml, situándose en un rango normal de capacidad de intercambio catiónico de un suelo.

CAPITULO V: DISCUSIÓN

5.1. Producción y caracterización de biocarbón

Los resultados de las características texturales del biocarbón mostraron muy baja área superficial (2,9 m²/g) del biocarbón elaborado. En general los biocarbones presentan una elevada área superficial en un rango de 200 y 400 m²/g (Kishimoto y Sugiura, 1985). Pero también hay casos en el que se halló baja área superficial; en el estudio de Van Swieten *et al.* (2010) se encontró que biocarbones procedentes de residuos de fábrica de papel elaborados por el método pirólisis lenta (similar al presente estudio) mostraron valores de área superficial entre 2,9 y 114,9 m²/g, observando que el valor más bajo es similar al encontrado en el presente estudio.

Así mismo se aprecia un porcentaje de humedad menor al 5%, con un contenido de cenizas menor al 20%. Este valor alto de cenizas y el difractograma presentado demuestran que existe un alto porcentaje de impurezas en el biocarbón, las cuales podrían resultar de la misma materia prima o de elementos que se forman durante la pirolisis. El pH de carga cero mostró un valor de 7,99, situándose en la categoría de moderadamente básico y colocándose en el rango común (6,2 y 13) de pH en el biocarbón según Chang y Xu (2009) y Srinivasarao *et al.* (2013).

5.2. Características de los sustratos

Los resultados de las características edafológicas de los sustratos mostraron valores de pH que van desde 6,64 (sustrato sin biocarbón) hasta 8,77 (sustrato con 10% de biocarbón); estando por encima del pH deseable (5,5-6,5) para los suelos preparados que son utilizados en la generación de individuos forestales según Delarmelina *et al.* (2014).

La densidad aparente se halló entre 1,11 g/cm³ (sustrato con 5% de biocarbón) y 1,25 g/cm³ (sustrato con 10% de biocarbón). Hojah (2013) demuestra en su

estudio que la adición de biocarbón reduce la densidad aparente en el suelo, observando el mismo comportamiento entre el sustrato sin biocarbón y el sustrato con 5% de biocarbón, además Berihun *et al.* (2017) muestran en su estudio que la adición de biocarbón al suelo mejora la densidad aparente. El rango favorable de densidad aparente; conforme a Abad y Noguera, mencionados por Hernandes *et al.* (2014), están entre 0,3 g/cm³ a 0,8 g/cm³.

La capacidad de campo (CC) se encontró entre 25% (sustrato sin biocarbón) y 29.9% (sustrato con 10% de biocarbón). Observando que aumenta la capacidad de campo conforme la concentración de biocarbón en el sustrato aumenta, coincidiendo con Sun y Lu (2014) que muestran en su estudio de investigación que la adición al suelo de biocarbón aumenta la disponibilidad de agua, punto de marchitez y capacidad de retención de agua.

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se encontró un aumento que va de 14,08 meq/100ml (sustrato sin biocarbón) a 15,04 meq/100ml (sustrato con 10% de biocarbón). Observando que aumenta la capacidad de intercambio catiónico conforme la concentración de biocarbón en el suelo incrementa, coincidiendo con estudios realizados por Bahrun *et al.* (2017) y McElligott (2011) en el que la adición de biocarbón aumenta la capacidad de intercambio catiónico en los suelos.

5.3. Germinación y crecimiento de las especies estudiadas

Para el caso de la especie *Bursera graveolens*, el conocimiento empírico de las personas cercanas a zonas donde crece esta especie señala el bajo porcentaje de germinación de la especie. Además, el estudio de investigación de Eras *et al.* (2016) realizado a esta especie menciona que la propagación sexual mostró un bajo porcentaje de germinación alcanzando un máximo de 20% de germinación utilizando métodos pre-germinativos como escarificación física, química e imbibición.

Los resultados de la prueba de germinación de *Ceiba trichistandra* mostraron un aumento en el porcentaje de germinación. El porcentaje de germinación de los individuos en los sustratos con 5% de biocarbón (T1) y con 10% de biocarbón (T2) incrementa hasta en un 20% con respecto al sustrato sin biocarbón (T0), Berihun *et al.* (2017) también obtiene un resultado positivo al adicionar biocarbón a suelos de cultivo de guisante de jardín y Reyes *et al.* (2015) solo observa resultados positivos en la germinación de *Q. rubra* cuando adicionan biocarbón y ceniza.

El estudio presenta en sus resultados que la adición de biocarbón como parte del sustrato no produjo un aumento en altura de los individuos de *Ceiba trichistandra*, mostrando al sustrato sin biocarbón (T0) con mayor altura promedio. Observando un resultado similar en el estudio de investigación realizado por Herrera *et al.* (2018), donde muestra que la adición de biocarbones elaborado de diferente materia prima tiene influencia en la altura de *Capparis scabrida*.

En los estudios realizados por Ojo *et al.* (2016) y Hojah (2013) se demuestra que la adición de biocarbón incrementa el diámetro de cuello en plántulas de *Mansonia altissima* y cacao respectivamente. Observando un resultado similar en nuestro estudio, en donde el sustrato con 10% de biocarbón (T2) presento el mayor diámetro promedio de cuello en individuos de *Ceiba trichistandra*.

El que mayor área foliar obtuvo en plántulas de *Ceiba trichistandra* fue el sustrato sin biocarbón (T0), observando que la adición de biocarbón al sustrato no genera un incremento de área foliar para esta especie, produciéndose un resultado opuesto al estudio de Bahrun *et al.* (2017) que obtiene un aumento del 75.63% en área foliar en plántulas de cacao al adicionar biocarbón al suelo.

Olmo (2013) observó que la adición de biocarbón en el suelo produjo un minúsculo aumento en la longitud de raíz y redujo la densidad tisular en los cultivos de trigo duro. Para el caso de los individuos de *Ceiba trichistandra*, la adición biocarbón como parte del sustrato no produjo ningún aumento en la

longitud de raíz, observando que el sustrato sin biocarbón (T0) registró la mayor longitud de raíz. Coincidiendo con los resultados del trabajo de investigación hecho por Herrera *et al.* (2018), en el que concluye que ninguno de los tres tipos de biocarbones elaborados adicionados al sustrato influyo en la longitud de raíz de los individuos de *Capparis scabrida*.

Se observó que en la especie *Ceiba trichistandra*, los individuos de los sustratos sin biocarbón (T0) y 10% de biocarbón (T2) en la quinta semana de evaluación comenzaron a presentar acúleos o falsas espinas mientras que los individuos del sustrato con 5% de biocarbón (T1) los presentaron en la sexta semana. También la caída de los cotiledones se comenzó a presentar en la séptima, octava y onceava semana para los individuos de los sustratos con 10% de biocarbón (T2), 5% de biocarbón (T1) y sin biocarbón (T0) respectivamente.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

La pirolización de materia orgánica residual del mercado modelo de Tumbes por el método de pirolisis lenta, produce un biocarbón con área superficial muy baja, con pH carga cero moderadamente básico y con estructura interna constituido por una cantidad limitada de poros.

El análisis de germinación realizado en la especie *Ceiba trichistandra* evidencia que en los sustratos que contenían biocarbón en su composición, el porcentaje de germinación es mayor con respecto al sustrato sin biocarbón. Por lo que la presencia de biocarbón tuvo un efecto positivo en la germinación de esta especie.

En el análisis de desarrollo en la especie *Ceiba trichistandra* se evidencia que el sustrato sin biocarbón es el que presenta individuos con mayores valores promedios en los parámetros altura, área foliar y longitud de raíz en comparación a los sustratos que contienen biocarbón en su composición, a excepción del diámetro de cuello. El análisis estadístico arroja como resultado que la adición de biocarbón al sustrato no presenta cambios significativos por lo que la presencia de biocarbón no tuvo ningún efecto sobre los parámetros de crecimiento evaluados.

El efecto de la presencia de biocarbón en los sustratos sobre la germinación de la especie *Bursera graveolens* no pudo ser medida, dado que ni siquiera las muestra sin biocarbón germinaron. Esto es debido a que esta especie tiene un % bajo de germinación cuando la propagación es sexual.

6.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar el biocarbón producido a partir de residuos orgánicos del mercado modelo de Tumbes en combinación con una fuente de nutrientes de pH ácido como el humus para equilibrar el pH del sustrato, ya que la adición de biocarbón al suelo aumenta el pH volviéndolo básico.

Se recomienda realizar más estudios en la interacción suelo-biocarbón-planta al observar que la adición de biocarbón al suelo produce cambios positivos al suelo y además que mejora el porcentaje de germinación en la especie *Ceiba trichistandra*.

BIBLIOGRAFIA

1. Alburqueue, F.; Alemán, C. (2016). Guía de prácticas de edafología. Universidad Nacional de Tumbes.
2. Alvarado, M.; Solano, J. (2002). Producción de sustratos para vivero. Programa Regional de Fortalecimiento de la Vigilancia Fitosanitaria en Cultivos de Exportación No Tradicional – VIFINEX. Costa Rica: OIRSA. 47p.
3. Acharya, J.; Sahu, J. N.; Mohanty, C. R; Meikap B. C. (2009). Removal of lead (II) from wastewater by activated carbon developed from Tamarind wood by zinc chloride activation. *Chemical Engineering Journal* 149 (1-3):249.262. doi: 10.1016/j.cej.2008.10.029.
4. Azul, C. (2013). Guía de estudio germinación de semillas. Extraído el 5 de enero del 2018.
<http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/GuiadeestudioGerminacion.pdf>
5. Bahrin, A.; Fahimuddin, M. Y.; Safuan, L. O.; Kilowasid, L. M. H.; Singh, R. (2018). Effects of cocoa pod husk biochar on growth of cocoa seedlings in Southeast Sulawesi-Indonesia. *Asian J. Crop Sci.*, 10: 22-30.
6. Barrera, J.; Suárez, D.; Melgarejo, L.M. (2010). Plant Growth Analysis. En: *Experiments in plant Physiology*. Edition First, Chapter 2, Publisher: Universidad Nacional de Colombia, Editors: Luz Marina Melgarejo. Pp. 25-38.
7. Berihun, T.; Tolosa, S.; Tadele, M.; Kebede, F. (2017). Effect of Biochar Application on Growth of Garden Pea (*Pisum sativum* L.) in Acidic Soils of Bule Woreda Gedeo Zone Southern Ethiopia. *Hindawi International Journal of Agronomy*, Volume 2017, Article ID 6827323, 8 pages. <https://doi.org/10.1155/2017/6827323>.
8. Bidwell, R. (2000). *Fisiología Vegetal*. México D.F.: Impresiones y Editores S.A. 784 p.
9. Brick, S. (2010). Biochar: Assessing the promise and risks to guide U.S. policy. *Natural Resources Defense Council. USA*.
http://www.nrdc.org/energy/files/biochar_paper.pdf.
10. Buamscha, M.; Contardi, L.; Dumroese, R.; Enricci, J.; Escobar, R.; Gonda, H.; Jacobs, D.; Landis, T.; Luna, T.; Mexall, J; Wilkinson, K. (2012). Producción de plantas en viveros forestales. Argentina: Artes Gráficas Integradas. 193 p.
11. Burés, S. (2002). Sustratos: propiedades físicas, químicas y biológicas (en línea). *Revista Extra* no. 12:70-78. Extraído 4 enero 2018. Disponible en <http://www.horticom.com/pd/imagenes/51/742/51742.pdf>

12. Cabrera, R. (1999). Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta (en línea). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5(1): 5-11. Extraído el 4 de enero 2018. Disponible en <http://www.chapingo.mx/revistas/revistas/articulos/doc/rchshV741.pdf>
13. Cardona, C.; Araméndiz, H.; Barrera, C. (2009). Estimación del área foliar en papaya (*Carica papaya* L.) basada en muestreo no destructivo. *Rev. UDCA act. Div. Cient.* 12(1):131-139
14. CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR). (1996). Recolección y manejo de semillas forestales. Curso para profesores "Mejoramiento genético, selección y manejo de fuentes semilleras y de semillas forestales". Costa Rica. p. 71-73.
15. Chan, K. Y.; Xu, Z. H. (2009). Biochar: Nutrient properties and their enhancement. pp. 67-84. In: J. Lehmann and S. Joseph (eds.). *Biochar for environmental management: Science and technology*. Earthscan. London, UK.
16. Cheng, C. H.; Lehmann, J. (2009). Ageing of black carbon along a temperature gradient. *Chemosphere* 75: 1021-1027.
17. Chu, P. K., Li, L. (2006). Characterization of amorphous and nanocrystalline carbon film. *Materials chemistry and Physics* 96 (2-3):253-277- doi: 10.1016/j.matchemphys.2005.07.048.
18. Courtis, A. (2013). Germinación de semillas. Guía de estudios de la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Cátedra de Fisiología Vegetal. Argentina. p. 16-18.
19. Czernik, S.; Bridgwater, A. V. (2004). Overview of applications of biomass fast pyrolysis Oil. *Eng. Fuels* 18: 590-598.
20. Dharmakeerthi, R. S.; Chandrasiri, J. A. S.; Edirimanne, V. U. (2012). Effect of rubber wood biochar on nutrition and growth of nursery plants of *Hevea brasiliensis* established in an Ultisol. *SpringerPlus*, 1(1):84.
21. De Armas, R.; Ortega, E.; Rodés, R. (1988). *Fisiología Vegetal*. Editorial Pueblo y Educación. La Habana: Editorial Progreso. 325 p.
22. Defensoría del pueblo, (2007). Pongamos la basura en su lugar: propuestas para la gestión de residuos sólidos municipales. Informe Defensorial número 125.
23. Delarmelina, W.; Caldeira, M.; Faria, J.; Gonçalves, E.; Rocha, R. (2014). Diferentes sustratos para la producción de plántulas de *Sesbania virgata* (en portugués) (en línea). *Revista Floresta e Ambiente* 21 (2): 224-233. Extraído el 5 de enero del 2018. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/274636449_Diferentes_proporcoes_de_

bio-solido_na_composicao_de_substratos_para_a_producao_de_mudas_de_timbo_Ateleia_glazioveana_Baill

24. Demirbas, M. F. (2009). Biorefineries for biofuel upgrading: A critical review. *Appl. Eng.* 86: S151-S161.
25. Downie, A.; Crosky, A.; Munroe, P. (2009). Physical properties of biochar. pp. 13-30. In: J. Lehmann and S. Joseph (eds.). *Biochar for environmental management: Science and technology*. Earthscan. London, UK.
26. Drake, J. A.; Carrucan, A.; Jackson, W. R.; Cavagnaroc, T. R.; Patti, A. F. (2015). Biochar application during reforestation alters species present and soil chemistry. *Science of the Total Environment* 514: 359–365.
27. Eras, V. H.; Morillo, L. F.; Moreno, J.; Minchala, J.; Muñoz, L.; Yaguana, M.; Poma, R.; Valarezo, C.; Sinche, M. (2016). Estudio fenológico y propagación de *Bursera graveolens* (Kunth) Triana & Planch, en la comunidad de Malvas, cantón Zapotillo, provincia de Loja. *Revista Científica Bosques Latitud Cero*. Volumen 6. No. 2.
28. Escalante, A.; Pérez, G.; Hidalgo, C.; López, J.; Campo J.; Valtierra E.; Etchevers J. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana* 34: 367-382.
29. Farag, I. H.; LaClair, C. E.; Barrett, C. J. (2002). Technical, environmental and economic feasibility of bio-oil in New Hampshire's North Country. New Hampshire Industrial Research Center. www.unh.edu/p2/biooil/bounhif.pdf.
30. Galloway, G.; Borgo, G. (1985). *Manual de Viveros Forestales en la Sierra Peruana*. Ministerio de Agricultura y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Perú. 123p
31. García, F.; Roselló, J.; Santamarina, P. (2006). *Introducción al funcionamiento de las plantas*. Editorial Univ. Politécnica de Valencia. España. p. 158, 163-169.
32. Gheorghe, C.; Marculescu, C.; Badea, A.; Dinca, C.; Apostol, T. (2009). Effect of pyrolysis conditions on bio-char production from biomass. pp. 239-241. In: *Proceedings of the 3rd WSEAS Int. Conf. on Renewable Energy Sources, July 1-3 2009*. Tenerife Canary Island, Spain. ISBN: 978-960-474-093-2.
33. Gilces, M. (2014). Efectos de la aplicación de biochar y cenizas en las propiedades del suelo. Trabajo Fin de Máster. Máster en Tecnologías Avanzadas para el Desarrollo Agroforestal. Universidad de Valladolid.
34. Gul, S.; Whalen, J. K.; Thomas, B. W.; Sachdeva, V.; Deng, H. (2015). Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: Mechanisms and future directions. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 206: 46–59.

35. Gundale, M. J.; Nilsson, M.; Pluchon, N.; Wardle D. A. (2016). The effect of biochar management on soil and plant community properties in a boreal forest. *Global Change Biology Bioenergy*. doi: 10.1111/gcbb.12274.
36. Hafeez, Y.; Iqbal, S.; Jabeen, K.; Shahzad, S.; Jahan, S.; Rasul, F. (2017). Effect of biochar application on seed germination and seedling growth of *Glycine max* (L.) merr. Under drought stress. *Pak. J. Bot.*, 49(SI): 7-13.
37. Hernandez, L.; Aldrete, A.; Ordaz, V.; López, J.; López, M. (2014). Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. En vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. *Revista Agrociencia* 48(6): 627-637.
38. Herrera, E. L.; Feijoo, C. Y.; Alfaro, R.; Solís, J. L.; Gómez, M. M.; Kieski, R. L.; Cruz; G. J. F. (2018). Producción de biocarbón a partir de biomasa residual y su uso en la germinación y crecimiento en vivero de *Capparis scabrida* (Sapote). *Scientia Agropecuaria* 9(4): 569-577.
39. Hojah, J. (2013). Impacto del uso de biocarbón sobre la calidad de suelos y producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en sistemas agroforestales, Reserva Indígena Bribri, Talamanca, Costa Rica. MSc. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 93 p.
40. Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA), (2006). Manual Divulgativo de especies forestales de la reserva de biosfera del noroeste.
41. Ippolito, J. A.; Lentz, R. D.; Novak, M. J.; Spokas, K. A.; Collins, H. P.; Streubel, J. (2011). Biochar usage: Pros and cons. *Western Nutrient Management Conference*. 9: 93-98. Reno, NV, USA.
42. James, W. (1967). *Introducción a la Fisiología Vegetal*. Barcelona: Ediciones Omega S.A. 328 p.
43. Jiménez, F. (1994). *Viveros Forestales para la Producción de planta a pie de repoblación (en línea)*. España, Secretaria General de Estructuras Agrarias del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Extraído el 26 de diciembre del 2017. Disponible en http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1993_06.pdf
44. Kishimoto, S.; Sugiura, G. (1985). Charcoal as soil conditioner. *Int. Achieve. Future* 5: 12-23.
45. Landis, T.; Tinus, R.; McDonald, S.; Barnett, J. (1994). *Manual de Viveros para la Producción de Especies Forestales en Contenedor (en línea)*. Extraído 26 de diciembre del 2017. Disponible en http://servicios.educarm.es/templates/portal/ficheros/websDinamicas/20/manual_produccion_planta_forestal_contedor_vol1_cap1.pdf

46. Laird, D. A.; Brown, R.; Amonette, J.; Lehmann, J. (2009). Review of the pyrolysis platform for coproducing bio-oil and biochar. *Biofpr* 3: 547-562.
47. Lehmann, J.; (2007). Bio-energy in the black. *Front. Ecol. Environ.* 5: 381-387.
48. Major, J. (2011). Biochar for soil quality improvement, climate change mitigation and more. A literature review. <http://biochar-atlantic.org/assets/pdf/BiocharSoilFertility.pdf>.
49. McElligott, K. M. (2011). Biochar amendments to forest soils: effects on soil properties and tree growth. Tesis de maestría, Universidad de Idaho, Estados Unidos. 103 pp.
50. McHenry, M. P. (2009). Agricultural bio-char production, renewable energy generation and farm carbon sequestration in Western Australia: Certainty, uncertainty and risk. *Agric. Ecosyst. Environ.* 129: 1-7.
51. McLaughlin, H.; Anderson, P. S.; Shields, F. E.; Reed, T. B. (2009). All biochars are not created equal, and how to tell them apart. North American Biochar Conference. Boulder, CO. <http://www.biochar-international.org/sites/default/files/All-Biochars--Version2--Oct2009.pdf>.
52. Navall, M. (2006). El Vivero Forestal: guía para el diseño y producción de un vivero forestal de pequeña escala de plantas en envase (en línea). Argentina, Proyecto Forestal Regional Módulo Santiago del Estero. Extraído el 27 de diciembre del 2017. Disponible en <http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-viveroforestal.pdf>
53. Novak, J. M.; Lima, I.; Xing, B.; Gaskin, W.; Steiner, C.; Das, K.C.; Ahmedna, M.; Rehrah, D.; Watts, D.W.; Busscher, W. J.; Schomberg H. (2009). Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. *Ann. Environ. Sci.* 3: 195-206.
54. Ojo, M.O.; Aghimien, E.V.; Udemba, J.E. (2016). Production of biochar from selected plant residues and the effects of its application on the growth of *mansonia altissima* (a. chev.) a. chev-fwta seedlings. *Continental J. Sustainable Development* 7 (1): 61 - 70.
55. Oliva, M.; Vacalla, F.; Pérez, D.; Tucto, A. (2014). Manual Vivero Forestal para Producción de plántulas de Especies Forestales Nativas: experiencia en Molinopampa, Amazonas-Perú. Proyecto PD 622/11 REv.1 (f). 19 p.
56. Olmo, M. (2013). Efecto del biocarbón sobre el crecimiento y producción de un cultivo de trigo en condiciones de campo. Trabajo Fin de Máster. Universidad de Córdoba.

57. Pastor, J. (2000). Utilización de sustratos en viveros (en línea). Revista Terra no. 17: 231-235. Extraído 26 diciembre del 2017. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/573/57317307.pdf>
58. Picón, R. (2013). Evaluación de sustratos alternativos para la producción de pilones de cultivo de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill. en los municipios de Esquipulas y Chuquimula, Guatemala. Tesis Ing. Agrónomo. Ciudad de Guatemala, GT, USCG. 127 p.
59. Programa Nacional de Conservación de Bosques para la mitigación del Cambio Climático. Deforestación y Degradación de bosques. <http://www.bosques.gob.pe/la-deforestacion-y-degradacion-de-nuestros-bosques>
60. Reyes, O.; Kaal, J.; Arán, D.; Gago, R.; Bernal, J.; García-Duro, J.; Basanta, M. (2015). The effects of ash and black carbon (biochar) on germination of different tree species. Fire Ecology Volume 11, Issue 1, 2015 doi: 10.4996/fireecology.1101119.
61. Rouquerol, F.; Rouquerol, I.; Sing K. (1999). Adsorption by powders and porous solids. Academic Press. ISBN: 978-0-12-598920-6. London, UK.
62. Ruiz, M. A. (2009). El análisis de tetrazolio en el control de calidad de semillas. Caso de estudio: cebadilla chaqueña. INTA EEA Anguil. Publicación Técnica N°77.
63. Sadaka, S. (2007). 2. PYROLYSIS. Center for sustainable environmental technologies. Department of Agricultural and Biosystems Engineering. Iowa State University. Nevada. <http://bioweb.sungrant.org/NR/rdonlyres/57BCB4D0-1F59-4BC3-A4DD-4B72E9A3DA30/0/Pyrolysis.pdf>.
64. Salisbury, F.; Ross, C. (2000). Fisiología de las plantas 3. Desarrollo de las plantas y fisiología ambiental. España: Editorial Paraninfo S.A. 988 p.
65. Schaczenski, J. 2010. Biochar and Sustainable Agriculture. pp. 1-12. In: H. Michels (ed.). National Sustainable Agriculture Information Service www.attra.ncar.org/attra-pub/biochr.html or www.attra.ncat.org/attra-pub/PDF/biochar.pdf.
66. Srinivasarao, Ch.; Gopinath, K. A.; Venkatesh, G.; Dubey, A. K.; Wakudkar, H.; Purakayastha, T. J.; Pathak, H.; Jha, P.; Lakaria, B. L.; Rajkhowa, D. J.; Mandal, S.; Jeyaraman, S.; Venkateswarlu, B.; Sikka, A. K. (2013). Use of biochar for soil health management and greenhouse gas mitigation in India: Potential and constraints. Central Research Institute for Dryland Agriculture. Hyderabad, Andhra Pradesh.
67. Sun, F.; Lu, S. (2014). Biochars improve aggregate stability, water retention, and pore-space properties of clayey soil. Journal Plant Nutrition and Soil Science 177 (1): 26–33. Doi: 10.1002/jpln.201200639.

68. Van Zwieten, L.; Kimber, S.; Morris, S.; Chan, K. Y.; Downie, A.; Rust, J.; Joseph, S.; Cowie, A. (2010). Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plan Soil*. 327: 235-246.

ANEXOS

Anexo N°01: Fotografías



Foto N°01: Punto de acopio de los RR.SS en el mercado modelo de Tumbes.



Foto N°02: Recolección de RR.SS orgánicos del mercado modelo de Tumbes



Foto N°03 Peso de los RR.SS orgánicos.



Foto N°04: Segregación de los RR.SS orgánicos.



Foto N°05: Secado de los RR.SS orgánicos en el secador solar



Foto N°06: triturado de los RR.SS orgánicos secos.



Foto N°07: Peso de la materia prima (RR.SS orgánicos triturados y secos)



Foto N°08: Proceso de Carbonización, en el reactor acondicionado para la obtención de biocarbón.



Foto N°09: Peso del biocarbón obtenido en el reactor acondicionado.



Foto N°10: equipo "mufla" que permite la incineración de los biocarbones en crisoles para determinar el contenido de cenizas.



Foto N°11: saturación con gas nitrógeno para la eliminación de CO_2 atmosférico en la solución de pH carga cero.



Foto N°12: Realización de la prueba de Viabilidad de las semillas.



Foto N°13: Respuesta de las semillas de Ceibo a la prueba de viabilidad



Foto N°14: Respuesta de las semillas de Palo Santo a la prueba de viabilidad



Foto N°15: Preparación de la prueba de germinación de las semillas



Foto N°16: Realización de la prueba de germinación de las semillas de Ceibo



Foto N°15: Preparación para la toma de datos de altura y diámetro de cuello



Foto N°16: Preparación para la toma de datos de longitud de raíz.



Foto N°17: Preparando cortes para la medición de peso en el área foliar



Foto N°18 Peso de las hojas para el área foliar.



Foto N°19: Prueba de salinidad en los sustratos.

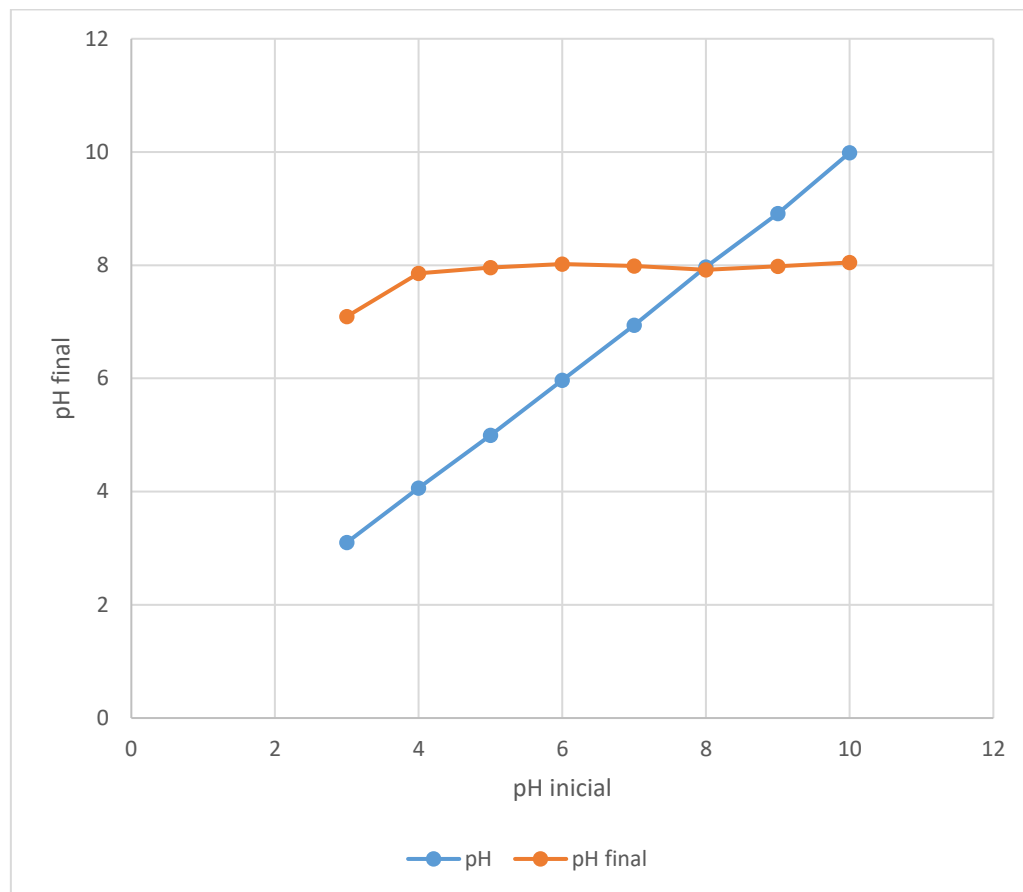


Foto N°20: Prueba de CIC en los sustratos.



Foto N°21: Prueba de Capacidad de Campo en los sustratos.

Anexo N°02: Determinación de pH carga cero del biocarbón.



Anexo N°03: Tablas de longitud de raíz y área foliar de la especie *Ceiba trichistandra*

Anexo 3.1: Tabla de longitud de raíz de *Ceiba trichistandra*

Individuo	Unidad	Sustrato T0 (Testigo) (0% biocarbón)	Sustrato T1 (5% biocarbón)	Sustrato T2 (10% biocarbón)
C1	Cm	13,0	17,5	X
C2		X	13,4	11,7
C3		16,7	12,2	12,0
C4		16,8	13,8	12,2
C5		13,4	11,7	15,7
C6		12,4	12,7	15,8
C7		22,6	12,2	12,7
C8		9,6	X	12,1
C9		12,3	X	11,4
C10		X	X	13,5

(X): plantas muertas

Anexo 3.2: Tabla de área foliar de *Ceiba trichistandra*

Individuo	Unidad	Sustrato T0 (Testigo) (0% biocarbón)	Sustrato T1 (5% biocarbón)	Sustrato T2 (10% biocarbón)
C1	Cm ²	90,7	70,86	X
C2		X	103,80	49,88
C3		143,69	64,39	89,27
C4		120,47	102,10	94,35
C5		67,54	76,71	115,16
C6		131,18	83,66	68,57
C7		111,61	66,23	101,22
C8		61,02	X	70,34
C9		100,81	X	103,08
C10		X	X	138,29

(X): plantas muertas

Anexo N° 04: Tabla de usos de las especies del manual divulgativo de INRENA

USOS PRINCIPALES DE LAS ESPECIES ARBOREAS MOSTRADAS EN EL MANUAL

NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMUN	MADERABLES							DIFERENTES A LA MADERA							1	1	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			15
<i>Loxopterygium huasango</i>	Hualtaco	X	X	X		X		X		X			X					
<i>Tabebuia billbergii</i>	G. madero negro	X	X	X		X							X					
<i>Tabebuia chrysantha</i>	G. oreja de león	X	X	X				X					X					
<i>Cochlospermum vitifolium</i>	Polo Polo				X	X		X	X		X		X	X				
<i>Ceiba trichistandra</i>	Ceibo					X		X			X	X					X	
<i>Ochroma pyramidale</i>	Palo de balsa				X	X		X			X			X				
<i>Eriotheca ruizii</i>	Pasallo				X	X		X	X		X	X	X					
<i>Cavanillesia platanifolia</i>	Pretino							X			X	X	X					
<i>Cordia lutea</i>	Overall			X				X	X	X		X	X				X	
<i>Bursera graveolens</i>	Palo Santo				X				X			X						
<i>Capparis mollis</i>	Margarito							X	X			X						
<i>Capparis eucalyptifolia</i>	Margarito							X	X			X						
<i>Capparis heterophylla</i>	Margarito							X	X			X						
<i>Capparis scabrida</i>	Sapote	X				X	X	X		X		X	X	X				
<i>Terminalia valverdeae</i>	Huarapo		X	X				X				X						
<i>Ipomoea carnea</i>	Borrachera							X	X								X	X
<i>Prosopis pallida</i>	Algarrobo			X		X	X		X	X							X	
<i>Geoffroea striata</i>	Almendra		X	X		X					X	X						
<i>Centrolobium ochroxylum</i>	Amarillo		X	X			X				X							
<i>Pithecellobium multiflorum</i>	Angolo				X	X			X			X						
<i>Myroxylon peruiferum</i>	Balsamo	X	X	X	X				X			X					X	
<i>Piscidia carthagenensis</i>	Barbasco blanco			X													X	X
<i>Caesalpinia pay pay</i>	Charan		X	X		X	X	X		X		X	X				X	
<i>Acacia macracantha</i>	Faique					X	X		X			X	X				X	
<i>Erythrina velutina</i>	Porotillo				X	X			X	X		X	X				X	
<i>Erythrina edulis</i>	Porotillo				X	X			X	X		X	X				X	
<i>Erythrina smithiana</i>	Porotillo				X	X			X	X		X	X				X	
<i>Ficus jacobii</i>	Matapalo								X									
<i>Pisonia macranthocarpa</i>	Pego pego					X						X						
<i>Bougainvillea pachyphylla</i>	Verano, papelillo							X	X								X	
<i>Bougainvillea peruviana</i>	Verano, papelillo							X	X								X	
<i>Gallesia integrifolia</i>	Palo de ajo			X	X				X								X	
<i>Coccoloba ruiziana</i>	Añalque							X			X	X						
<i>Coccoloba densifrons</i>	Añalque							X			X	X						
<i>Triplaris americana</i>	Fernán Sánchez		X	X				X									X	
<i>Triplaris cumingiana</i>	Fernán Sánchez		X	X				X									X	
<i>Triplaris peruviana</i>	Fernán Sánchez		X	X				X									X	
<i>Ziziphus thyrsoiflora</i>	Ebano	X		X		X		X		X		X						
<i>Simira ecuadorensis</i>	Huapala			X								X						
<i>Simira rubescens</i>	Huapala			X								X						
<i>Simira williansii</i>	Huapala			X								X						

<i>Alseis peruviana</i>	Palo de vaca	X	X	X				X										
<i>Sapindus saponaria</i>	Checo								X	X				X	X	X		
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Huasimo			X				X	X	X		X	X	X		X	X	

Parquet: 1 Artesanía en madera: 5 Medicinal: 9 A. Ganado: 12 Potencial: 16
 Carpintería: 2 Carbón: 6 Alimentación: Melífera: 13 Nociva: 17
 Construcciones rurales: 3 Leña 7 A. Humana: 10 Ornamental: 14
 Cajonería: 4 Artesanía dif. madera 8 A. Fauna silv.: 11 Otros: 15

Anexo N°05: Formatos de evaluación

Anexo N°5.1: tabla de recolección de datos de altura y diámetro al cuello

Individuo	Diámetro de cuellos (mm)	Altura (cm)	Observaciones

Anexo N°5.2: tabla de recolección de datos de longitud de raíz

Individuo	Longitud de raíz (cm)	Observaciones

Anexo N°5.3: tabla de recolección de datos de área foliar

N° de individuo	Peso del corte de 1 cm ² (g)	Peso total de la hoja (g)	Área Foliar (cm ²)	Observaciones