



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Obtención de biochar a partir de la biomasa de podas forestales de la
zona urbana de la ciudad de Cuenca**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR: DIEGO ESTEBAN ARÉVALO RENDÓN

DIRECTOR: DR. SERGIO IGLESIAS ABAD, PH.D.

MATRIZ CUENCA

2018

DECLARACIÓN

Yo, Diego Esteban Arévalo Rendón, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento; y eximo expresamente a la Universidad Católica de Cuenca y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

La Universidad Católica de Cuenca puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y la normatividad institucional vigente.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Diego Arévalo Rendón', is written over a faint, mirrored watermark of the same text. The signature is fluid and cursive.

.....
Diego Esteban Arévalo Rendón

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Diego Esteban Arévalo Rendón, bajo mi supervisión.



.....
DR. SERGIO IGLESIAS ABAD, PH.D.

DIRECTOR

AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos infinitos a mi tutor, Dr. Sergio Iglesias Abad, Ph. D. por su guía, confianza y apoyo incondicional. A la Universidad católica de Cuenca que me abrió las puertas desde un principio y que ha sido mi segunda hogar, gracias por permitirme formar parte de esta gran institución.

A mis queridos padres y hermanas, por su grandeza e inspiración para motivarme y seguir siempre adelante en toda meta trazada

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres quienes con su amor y apoyo me han inculcado la perseverancia para el logro de mis metas, a mis hermanas y primos que con sus palabras siempre me han demostrado cariño y apoyo, a mis amigos y amigas que me han acompañado en mi vida estudiantil y con su paciencia me han permitido desenvolverme en una vida de servicio, y a todas aquellas personas que me han engrandecido y que me han ayudado a subir más alto para ver más lejos.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN	i
CERTIFICACIÓN	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO	v
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABLAS	x
LISTA DE ANEXOS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
CAPÍTULO I	- 1 -
1. INTRODUCCIÓN	- 1 -
1.1 Objetivos	- 3 -
1.1.1 Objetivo general	- 3 -
1.1.2 Objetivos específicos	- 3 -
1.2 Alcance	- 3 -
1.3 Justificación	- 4 -
CAPÍTULO II	- 5 -
2. MARCO TEÓRICO	- 5 -
2.1 El biochar	- 5 -
2.1.1 Características del biochar	- 5 -
2.1.2 Fuentes de producción de biochar	- 6 -
2.1.3 Producción de biochar	- 6 -
2.1.4 Propiedades físicas y químicas del biochar	- 6 -
a. pH de la solución de biochar	- 7 -
b. Conductividad eléctrica	- 7 -
c. Capacidad de intercambio catiónico	- 7 -
2.1.5 Beneficios ambientales del biochar	- 8 -
2.1.6 Ventajas del uso de biochar	- 8 -
2.2 Pirólisis	- 9 -
2.2.1 Pirólisis rápida	- 10 -
2.2.2 Variables que afectan a la pirólisis	- 10 -

2.3	Biomasa	- 11 -
2.3.1	Biomasa aérea	- 12 -
2.3.2	Biomasa lignocelulósica	- 12 -
2.3.3	Composición química de la biomasa	- 13 -
2.4	Podas forestales de áreas verdes urbanas	- 13 -
2.5	Especies forestales de la zona urbana más comunes de la ciudad de Cuenca	- 13 -
2.5.1	Eucalipto	- 14 -
2.5.2	Acacia	- 15 -
2.5.3	Urapán	- 16 -
2.6	Ciudad de Cuenca	- 17 -
CAPÍTULO III		- 18 -
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	- 18 -
3.1	ZONA DE ESTUDIO	- 18 -
3.2	POBLACION Y MUESTRA	- 19 -
3.2.1	Población	- 19 -
3.2.2	Muestra	- 22 -
3.3	MATERIALES	- 22 -
3.3.1	Materiales de campo	- 22 -
3.4	METODOLOGIA	- 24 -
3.5	CARACTERIZACION DEL BIOCHAR	- 37 -
3.5.1	Análisis macro nutrientes	- 37 -
3.5.2	Análisis del rendimiento del biochar	- 37 -
3.5.3	Análisis de las propiedades químicas elementales	- 37 -
3.5.4	Análisis estadístico	- 37 -
CAPÍTULO IV		- 38 -
4.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	- 38 -
4.1	Producción de biochar	- 38 -
4.2	Caracterización del biochar	- 40 -
4.2.1	Potencial de hidrogeno (pH):	- 41 -
4.2.2	Conductividad eléctrica	- 42 -
4.2.3	Macronutrientes	- 43 -
4.3	Análisis estadístico y resultados de la germinación de semillas de arveja	- 45 -
CAPÍTULO V		- 65 -
5.	CONCLUSIONES	- 65 -

CAPÍTULO VI	- 66 -
6. RECOMENDACIONES	- 66 -
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	- 67 -
ANEXOS	- 71 -

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: “ <i>Eucalyptus globulus</i> ”	- 15 -
Figura 2: ” <i>Acacia melanoxylon</i> ”	- 16 -
Figura 3: “ <i>Fraxinus chinensis</i> ”	- 17 -
Figura 4: Ubicación de la zona de estudio	- 18 -
Figura 5: Zonificación de áreas verdes de la EMAC EP	- 19 -
Figura 6: Delimitación del parque de la Madre.....	- 20 -
Figura 7: Delimitación del parque Miraflores	- 21 -
Figura 8: Delimitación del parque Paraíso.....	- 22 -
Figura 9: Materiales de campo	- 23 -
Figura 10: Muestras de podas forestales.....	- 23 -
Figura 11: Acondicionamiento de la biomasa de eucalipto	- 24 -
Figura 12: Diseño del horno pirólítico.....	- 25 -
Figura 13: Dimensiones del tambor cilíndrico interno	- 25 -
Figura 14: Dimensiones del cilindro externo.....	- 26 -
Figura 15: Acondicionamiento de las entradas de aire del tambor externo	- 28 -
Figura 16: Llenado de la cámara interna con la biomasa seca.....	- 28 -
Figura 17: Acondicionamiento con leña en el espacio libre comprendido entre las dos cámaras.....	- 29 -
Figura 18: Inicio de la llama	- 29 -
Figura 19: Inicio del proceso de pirólisis	- 30 -
Figura 20: Biochar obtenido luego del proceso de enfriamiento.....	- 30 -
Figura 21: Relación fase sólida biochar: fase líquida agua desionizada.....	- 32 -
Figura 22: Pruebas de germinación.....	- 33 -
Figura 23: Día inicial de siembra.....	- 34 -
Figura 24: Aparición de la radícula	- 34 -
Figura 25: Crecimiento de semillas sobre los 2 cm.....	- 35 -
Figura 26: Crecimiento de semillas sobre los 10 cm.....	- 35 -
Figura 27: Control de humo en el proceso de pirólisis	- 38 -
Figura 28: Muestra de biochar de urapán.....	- 39 -
Figura 29: Muestra de biochar de acacia.....	- 39 -
Figura 30: Muestra de biochar de eucalipto	- 40 -
Figura 31: Niveles de pH de los tipos de biochar	- 41 -
Figura 32: Conductividad eléctrica en diferentes tipos de biochar (mS/cm)	- 42 -
Figura 33: Valores de macronutrientes de biochar de eucalipto.....	- 43 -
Figura 34: Valores de macronutrientes de biochar de urapán	- 43 -
Figura 35: Valores de macronutrientes de biochar de acacia.....	- 44 -
Figura 36: Análisis comparativo de macronutrientes de las tres tipos de biochar....	- 45 -
Figura 37: Porcentaje de semillas germinadas en 24 horas	- 47 -
Figura 38: Porcentaje de semillas germinadas en 48 horas	- 49 -
Figura 39: Porcentaje de primeros brotes en las semillas germinadas	- 51 -
Figura 40: Porcentaje de semillas germinadas a las 96 horas	- 53 -
Figura 41: Porcentaje de germinación de semillas sobre los 2 cm	- 55 -
Figura 42: Porcentaje de semillas sobre los 5 cm	- 57 -
Figura 43: Porcentaje de semillas germinadas sobre los 10 cm	- 59 -

Figura 44: Porcentaje de semillas sobre los 15 cm	- 61 -
Figura 45: Porcentaje de semillas germinadas sobre los 20 cm	- 63 -
Figura 46: Tendencia de la germinación de las semillas	- 64 -

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Rangos de valores típicos del análisis inmediato del biochar	- 7 -
Tabla 2: Lista de algunos beneficios del biochar observados y autores que los han estudiado	- 9 -
Tabla 3: Tipos de pirólisis y rendimientos típicos de productos	- 10 -
Tabla 4: Componentes de la biomasa lignocelulósica y sus rangos de descomposición térmica	- 12 -
Tabla 5: Especies más abundantes en el arbolado urbano de la ciudad de Cuenca	- 14 -
Tabla 6: Ubicación de coordenadas del parque de la Madre	- 19 -
Tabla 7: Ubicación de coordenadas del parque Miraflores.....	- 20 -
Tabla 8: Ubicación de coordenadas del parque el Paraíso	- 21 -
Tabla 9: Especies forestales seleccionadas para este estudio.....	- 22 -
Tabla 10: Datos tomados para la producción de biochar.....	- 27 -
Tabla 11: Datos registrados de inicio a fin del periodo de germinación de semillas	- 33 -
Tabla 12: Tiempo de elaboración del biochar.....	- 40 -
Tabla 13: Resultados de los datos observados a las 24 horas	- 46 -
Tabla 14: Análisis estadístico de los resultados observados a las 24 horas.....	- 47 -
Tabla 15: Resultados de los datos observados a las 48 horas	- 48 -
Tabla 16: Análisis estadístico de los resultados observados a las 48 horas.....	- 48 -
Tabla 17: Resultados de los datos observados de los primeros brotes.....	- 50 -
Tabla 18: Análisis estadístico de los resultados en los primeros brotes de semillas	- 50 -
Tabla 19: Resultados de los datos observados a las 96 horas	- 52 -
Tabla 20: Análisis estadístico del número de brotes en las semillas a las 96 horas	- 52 -
Tabla 21: Resultados de los datos observados de semillas sobre los 2cm	- 54 -
Tabla 22: Análisis estadístico del crecimiento de las semillas sobre los 2 cm.....	- 54 -
Tabla 23: Resultados de los datos observados de semillas sobre los 5 cm	- 56 -
Tabla 24: Análisis estadístico sobre el crecimiento de las semillas sobre los 5 cm .	- 56 -
Tabla 25: Resultados de los datos observados de semillas sobre los 10 cm	- 58 -
Tabla 26: Análisis estadístico de las semillas sobre los 10 cm	- 58 -
Tabla 27: Resultados de los datos observados de semillas sobre los 15 cm	- 60 -
Tabla 28: Análisis estadístico de las semillas germinadas sobre los 15 cm	- 60 -
Tabla 29: Resultados de los datos observados de semillas sobre los 20 cm	- 62 -
Tabla 30: Análisis estadístico de las semillas sobre los 20 cm	- 62 -

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: Informe de resultados de ensayos de eucalipto	- 71 -
Anexo 2: Informe de resultados de ensayos de acacia	- 72 -
Anexo 3: Informe de resultados de ensayos de urapán.....	- 73 -
Anexo 4: Resultados del modelo estadístico: análisis de la varianza de semillas germinadas en 24 horas.....	- 74 -
Anexo 5: Resultados del modelo estadístico: análisis de la varianza de semillas germinadas en 48 horas.....	- 74 -
Anexo 6: Resultados del modelo estadístico: análisis de la varianza de primeros brotes	- 75 -
Anexo 7: Resultados del modelo estadístico: análisis de la varianza de semillas germinadas en 96 horas.....	- 75 -
Anexo 8: Resultados del modelo estadístico: análisis de la varianza de semillas sobre los 2cm.....	- 76 -
Anexo 9: Resultados del modelo estadístico: análisis de la varianza de semillas sobre los 5 cm.....	- 76 -
Anexo 10: Resultados del modelo estadístico: análisis de la varianza de semillas sobre los 10cm.....	- 76 -
Anexo 11: Resultados del modelo estadístico: análisis de la varianza de semillas sobre los 15cm.....	- 77 -
Anexo 12: Resultados del modelo estadístico: análisis de la varianza de semillas sobre los 20 cm	- 77 -

RESUMEN

La investigación fue realizada en la ciudad de Cuenca, consistió en la obtención y evaluación del biochar producido mediante pirólisis rápida en un horno pirolítico artesanal, a partir de tres tipos de biomasa compuesta de podas forestales de las áreas verdes de la zona urbana, para determinar su aptitud como potenciador de germinación de semillas. Para la producción de biochar se aprovechó la biomasa residual de las podas forestales de eucalipto "*Eucalyptus globulus*", urapán "*Fraxinus chinensis*", y de acacia "*Acacia melanoxylon*", validándolo con pruebas de germinación en semillas de arveja. Para la caracterización se procedió a realizar análisis de pH, conductividad eléctrica, macronutrientes y rendimiento del biochar, aplicando las metodologías propuestas en investigaciones consultadas. Finalmente se encontraron diferencias estadísticamente significativas para todas las propiedades evaluadas del biochar según la biomasa seleccionada. El biochar de eucalipto resultó ser el más idóneo para el aporte en la germinación de semillas. De igual manera se observó que los biochars obtenidos favorecen la germinación de semillas de arveja.

PALABRAS CLAVE: BIOCHAR, BIOMASA, PIRÓLISIS, CARACTERIZACIÓN, PODAS FORESTALES, CIUDAD DE CUENCA.

ABSTRACT

The research was carried out in the city of Cuenca, consisted of obtaining and evaluating the biochar produced by fast pyrolysis was carried out in an artisanal pyrolytic oven, from the types of biomass composed of the areas of green areas of the urban area, to determine its suitability as seed germination garnish. For the production of biochar, the residual biomass of the eucalyptus forest grids "Eucalyptus globulus", Urapán "Fraxinus chinensis" and Acacia "Acacia melanoxylon", valid for germination tests and pea seeds were used. For the characterization, an analysis of pH, electrical conductivity, macronutrients and biochar yield was carried out, applying the methodologies proposed in the researches consulted. Finally, statistically significant differences were found for all evaluated properties of the biochar according to the selected biomass. The biochar of eucalyptus is the most suitable for the contribution in germination of seeds. In the same way, it has been observed those biochairs have been applied for the absorption of nutrients.

KEY WORDS: BIOCHAR, BIOMASS, PYROLYSIS, CHARACTERIZATION, FOREST PRUNING, CITY OF CUENCA

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La producción en gran cantidad de residuos provenientes de las podas forestales de las zonas urbanas de Cuenca es uno de los problemas para el medio ambiente por su almacenamiento ya que generan emisiones de CO₂. Cuenca cuenta con una cantidad considerable de áreas verdes dentro de la zona urbana, en estas zonas las especies forestales más comunes son el eucalipto, la acacia y el urapán. Los residuos forestales de estas especies son almacenados y destinados para la realización únicamente de compostaje.

Este trabajo plantea la utilización de dichos residuos para la producción de biochar de forma sostenible, este material ha despertado en los últimos años un gran interés en la comunidad científica principalmente por su capacidad para mejorar la germinación de semillas y la productividad de los suelos, influenciando las propiedades fisicoquímicas de los mismos y como medio de fijación de carbono, reduciendo, por tanto, las emisiones de CO₂ a la atmósfera (Escalante et al., 2016).

El biochar es un compuesto altamente rico en carbono, obtenido a partir de residuos orgánicos (restos vegetales, residuos forestales, estiércol animal, etc.) mediante la descomposición térmica a temperaturas altas y en un ambiente escaso de oxígeno, este proceso es llamado pirólisis rápida, el mismo que será realizado en un horno pirolítico construido artesanalmente, el cual ha sido elaborado según estudios anteriores. El biochar se diferencia del carbón vegetal en que su finalidad tiene varias aplicaciones y diferentes alcances dentro del ámbito ambiental, mientras que el carbón vegetal se utiliza para ser quemado y obtener energía (Lehmann & Joseph, 2009).

Analizar nuevas formas de manejo de la biomasa con relación al biochar es muy importante, para evitar el incorrecto manejo de fuentes alternas de fertilización orgánica y generar la recirculación de los nutrientes dentro del mismo sitio o repetir el ciclo de vida, las que proporcionen alternativas frente al campo ambiental, llevadas a condiciones de mayor productividad de las especies forestales y al mismo tiempo permitan la conservación de los cultivos (Amonette, 2009).

La obtención de biochar en la ciudad de Cuenca podría considerarse como una alternativa conveniente para promover, impulsar la agricultura y proyectar un modelo de agricultura sostenible.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

Evaluar la calidad del biochar obtenido mediante el proceso de pirólisis rápida, con diferentes tipos de biomasa para validar sus posibles beneficios sobre la germinación de semillas de arveja.

1.1.2 Objetivos específicos

- ✓ Obtener tres tipos de biochar a partir de la biomasa seleccionada para este estudio.
- ✓ Establecer y analizar las características del biochar obtenido para determinar sus propiedades potenciales mediante análisis físico químicos
- ✓ Validar el biochar obtenido mediante pruebas de germinación con semillas de arveja

1.2 Alcance

Según la Empresa Pública Municipal de aseo de Cuenca EMAC-EP, cuenta con un total de 364 espacios verdes comprendidos en un área de 3'056.250 m², los cuales sirven para descanso, deporte y distracción de los 417.632 de cuencanos; con lo cual la Ciudad de Cuenca cuenta con 7,32 m² /habitante (EMAC, 2014).

Los sitios tienen dimensiones variadas y están distribuidos desde el antiguo centro histórico hasta las parroquias más distantes. La entidad responsable del mantenimiento de estos espacios es la unidad de áreas verdes de la Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca EMAC-EP.

En la ciudad, de acuerdo con datos de la Empresa Municipal de Aseo de Cuenca EMAC-EP, existen alrededor de 208 parques. Los principales y los de mayor extensión son: El Paraíso, Parque de la Madre y el de Miraflores. En el sistema se encuentran inventariados 43 parques dentro del perímetro urbano entre infantiles, barriales, urbanos y lineales (EMAC, 2014).

Dentro de la zona urbana de la ciudad las especies forestales que predominan las áreas verdes son:

Eucalipto "*Eucalyptus globulus*", Acacia "*Acacia melanoxylon*", y el Urapán "*Fraxinus chinensis*".

1.3 Justificación

Este trabajo pretende dar una alternativa para ayudar a mejorar el manejo que se le da a la biomasa producida por las podas forestales de áreas verdes urbanas, ya que estos residuos son producidos en grandes cantidades por las numerosas áreas verdes urbanas que tiene la ciudad de Cuenca. Esta biomasa es destinada únicamente para la producción de compostaje (EMAC, 2014), teniendo en cuenta que para la producción del mismo tarda mucho tiempo provocando emisiones de CO₂ al ambiente.

La obtención de biochar a partir de este tipo de biomasa será una propuesta de solución a este problema que tiene la ciudad de Cuenca, se busca el aprovechamiento de la mayor parte de estos residuos para poder obtener una gran cantidad de biochar ya que este proceso de obtención no es costoso y su metodología no tiene un alto nivel de dificultad, al contrario el proceso tarda entre uno o dos días mediante pirólisis rápida para su obtención siendo posible resolver el incompleto manejo de este tipo de residuos (Lehmann & Joseph, 2009).

En otros aspectos la utilización del biochar en la germinación de semillas nos permite el aumento de la disponibilidad de nutrientes para las plantas en parte por la mejora de la capacidad de intercambio catiónico en el suelo, así como la estimulación de los procesos biológicos que permiten mejorar la estructura del suelo y la capacidad de almacenamiento de agua (Abenza, 2012).

(Ilguan Caizaguano & Carrasco, 2016; Lehmann et al., 2011). Dichos estudios también hablan de la capacidad de este material para reducir la lixiviación y la escorrentía superficial, aumentar el pH del suelo, así como la absorción de pesticidas y metales pesados.

Este trabajo pretende aportar resultados acerca del comportamiento del biochar aplicado sobre la germinación de semillas. Es importante ya que se estudian los efectos de la aplicación, considerando las interacciones entre un tipo de materia prima para la producción de biochar, método de pirólisis y la determinación de diluciones para su aplicación. El trabajo realizado se justifica por la necesidad científica de ganar capacidad de predicción en la aplicación de biochar en suelos, y así abrir la posibilidad de uso a escalas más amplias.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 El biochar

El Biochar es el producto resultante de la descomposición térmica de materiales orgánicos (biomasa) con escaso o limitado suministro de oxígeno (pirólisis), a temperaturas relativamente bajas que aproximadamente son inferiores a los 700 °C (Lehmann & Joseph, 2009). El biochar se define como una enmienda del suelo debido a sus propiedades físicas y químicas y a sus distintas interacciones con el suelo y la planta, tiene la capacidad de incrementar el rendimiento de los cultivos, contribuir con el reciclaje de nutrientes del suelo y a capturar y fijar carbono atmosférico en el suelo como carbono orgánico. Mientras que, la producción de carbón vegetal o charcoal en inglés, mediante la carbonización de la madera o de sus derivados, es usado principalmente como fuente energética (Schahczenski, 2010).

2.1.1 Características del biochar

La composición del biochar cambia de acuerdo al tipo de materia prima. Sin embargo, se encuentra compuesto principalmente de carbono orgánico recalcitrante y de contenidos de macro y micronutrientes retenidos de su materia prima original. Así también, se encuentra formado por una concentración variada de otros elementos tales como oxígeno (O), hidrógeno (H), azufre (S), cationes básicos, metales pesados y de compuestos orgánicos. La composición dependerá también de las condiciones de pirólisis puesto que algunos contaminantes pueden formarse durante el proceso de producción, tal es el caso de los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs), formados a partir de cualquier materia carbonácea (Guerra, 2014).

Algunos autores consideran que la composición química de los biocarbones es muy parecida al carbón obtenido para combustible y que lo único que los distingue es el objetivo para el cual fueron preparados (Schahczenski, 2010). Numerosos estudios (Escalante et al., 2016; Lehmann & Joseph, 2009; Suarez, Ardila, & Barrera, 2017). Sugieren que los componentes del biochar son altamente recalcitrantes en los suelos; esto es, que resisten la oxidación química y biológica, por lo que su tiempo de residencia es de cientos a miles de años, al menos de 10 a 10 mil veces más grande que los tiempos de residencia de la mayoría de la materia orgánica del suelo. Por esta cualidad de recalcitrancia, la adición de este producto al suelo puede desempeñarse como un sumidero potencial de carbono (Verheijen, Jeffery, Bastos, Van Der Velde, & Diafas, 2010) y así contribuir a la mitigación del exceso de CO₂ en la atmósfera.

Con relación a sus propiedades físicas, el biochar es un sólido carbonoso, de color negro, con una superficie variada y desordenada, cuyas características estructurales varían según el tipo y tiempo de la pirólisis. El biochar está formado por partículas de diferentes tamaños, lo que depende de la fuente y tamaño de la materia prima (Nates, 2014). Posee una alta porosidad con micro, meso y macro poros, cuyos tamaños van de <2 nm, 2-50 nm y >50 nm, respectivamente.

2.1.2 Fuentes de producción de biochar

En la actualidad, la biomasa está siendo estimada como una fuente renovable importante que puede aportar a la economía, sostenibilidad y seguridad energética de un país (Dauber, Terán, & Guzmán, 1992). Para países agrícolas y en vías de desarrollo el aprovechamiento de los residuos de cosechas y podas puede resultar muy beneficioso y aunque no se precisan términos exactos, es innegable que pueden presentarse como una gran fuente de aprovechamiento, no sólo desde el punto de vista del tema energético sino también para el manejo de los suelos.

2.1.3 Producción de biochar

Hoy en día debido al desarrollo tecnológico de la industria bioenergética que incluye, además de la combustión, la pirólisis y la gasificación de la biomasa, es posible obtener tres productos resultantes de estos procesos: gas de síntesis (syngas), bioaceite y un residuo sólido rico en carbono, el Biochar (Escalante et al., 2016). La producción de Biochar tiene su origen en la combustión incompleta o parcialmente anaeróbica (pirólisis) de cualquier tipo de biomasa natural.

2.1.4 Propiedades físicas y químicas del biochar

La composición del biochar es muy heterogénea, ya que contiene componentes estables como inestables (Sohi, Krull, & Bol, 2010). Un análisis básico para conocer las características del biochar es un análisis en el cual se evalúan los siguientes parámetros: carbono fijo, materia volátil, sustancias minerales (cenizas) (Si, Ca, K, Na, Mg, S, P, Fe, Mn) y agua (humedad). La Tabla 1 presenta el biochar obtenido a partir de una amplia variedad de materiales y condiciones de pirólisis.

Tabla 1: Rangos de valores típicos del análisis inmediato del biochar

Componente	Masa (%)
Carbono fijo	50-90
Volátiles	0-40
Humedad	1-15
Cenizas	0,5-5

Fuente: (Abenza, 2012)

a. pH de la solución de biochar

El pH es una característica muy importante a considerar debido a que es un determinante directo sobre los efectos de la relación suelo – biochar – planta y el pH resultante dependerá de la materia prima original y de las condiciones operacionales (Lehmann & Joseph, 2009).

El pH alto en el biochar es favorable para suelos ácidos, por cuanto puede actuar como compensador de acidez. : (Yadav, Ansari, Simha, Gaikar, & Pandit, 2016) en su trabajo “*Vacuum pyrolysed biochar for soil amendment*” reporta un valor pH de 5,2.

b. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica representa la medida del contenido total de sales disueltas en el biochar, incluyendo todos los fertilizantes y sales neutras que se encuentran en la solución (Amonette, 2009). No es necesariamente un problema, pero demasiada sal tiene un efecto adverso en la mayoría de las plantas.

c. Capacidad de intercambio catiónico

La Capacidad de Intercambio Catiónico o CIC es una características importante en el suelo por que determina la adsorción y desorción de nutrientes y por ende, de su disponibilidad en el suelo (Mahmood, Ariffin, Harun, & Ghani, 2015). Una elevada CIC en el biochar puede deberse a la presencia de grupos funcionales oxidados (grupos carboxil) en su superficie luego de una degradación microbiana. La presencia de estos grupos puede verse indicada por una elevada tasa de oxígeno.

2.1.5 Beneficios ambientales del biochar

Los principales beneficios de la añadidura de biochar se comprende en las mejoras de la retención e infiltración del agua de la superficie, en su capacidad de intercambio catiónico, en la retención de nutrientes, el aumento de su pH, en la eficacia del uso de nitrógeno y en la estimulación del desarrollo microbiano y sobre todo en posibles efectos duraderos sobre el suelo (Laird, Fleming, Wang, Horton, & Karlen, 2010).

El biochar presenta la posibilidad de conservar estos nutrientes disponibles para el aprovechamiento de la planta, en comparación con otros materiales orgánicos tales como hojarasca, compost o estiércoles. Con relación al aspecto biológico, muchos estudios han encontrado que la biomasa microbiana se ha visto incrementada como consecuencia de las adiciones de biochar (Lehmann & Joseph, 2009). Además de los nutrientes de la planta, el biochar es capaz de adsorber u obstruir otros compuestos químicos, como metales pesados, herbicidas, hidrocarburos aromáticos policíclicos, entre otros.

2.1.6 Ventajas del uso de biochar

Las ventajas que se espera por el uso de biocarbón es la captura de carbono. En el ciclo del carbono las plantas toman CO_2 de la atmósfera para la fotosíntesis y al morir forman parte de la materia orgánica del suelo, presentando carbono en sus estructuras. Sin embargo, la mayor parte de esta materia es mineralizada por los microorganismos del suelo, en esta transformación se libera CO_2 a la atmósfera, que se suma al emanado por la respiración de las plantas. Las cantidades de CO_2 absorbidas y liberadas en este proceso están balanceadas, este es el caso de un balance de carbono neutral, es decir, que no incrementa la cantidad neta de este gas en la atmósfera. La adición neta de carbono a la atmósfera representa el carbono positivo, en tanto que la pérdida neta de este gas refiere al carbono negativo. En este sentido, cuando se aplica biocarbón al suelo, dado que el carbono está en forma recalcitrante, tarda considerable tiempo en degradarse, convirtiéndose en carbono negativo (Schahczenski, 2010).

La Tabla 2 muestra un listado de autores que han estudiado distintos beneficios del biochar.

Tabla 2: Lista de algunos beneficios del biochar observados y autores que los han estudiado

Beneficio observado	Autores que lo afirman
Mejora de la fertilidad de algunos suelos	Verheijen et al., (2010)
	Jeffery et al., (2011)
	Kookana et al., (2011)
	Biederman & Harpole, (2013)
Aumento de pH de suelos ácidos	Jeffery et al., (2011)
Aumento de disponibilidad de nutrientes para plantas	Major et al., (2010)
Incremento de la retención de agua	Busscher et al., (2010)
	Liu et al., (2012)

2.2 Pirólisis

La pirólisis puede determinarse como la descomposición térmica de la materia orgánica en ausencia de oxígeno transformándose en una fase líquida, una fase gaseosa y un producto sólido denominado biochar o carbonizado. El propio término de pirólisis revela su significado, debido a que el término “pyro” deriva del griego y significa fuego mientras que “lisis” significa rotura o fraccionamiento en partes (Urien, 2013).

La pirólisis es un proceso termoquímico que convierte la materia orgánica en combustible útiles, con un alto rendimiento, mediante calentamiento a temperatura medianamente baja en un rango de 400°C a 700°C y en ausencia de oxígeno. Por su capacidad de tratamiento, es el procedimiento más eficaz para competir con las fuentes de combustibles no renovables (Agro Waste, 2013).

La Tabla 3 muestra que las diferentes condiciones de pirólisis que conducen a diferentes proporciones de cada producto final (biochar, bioaceite y gas). Esto significa que las condiciones específicas del proceso de pirólisis se pueden adaptar para obtener el resultado deseado

Tabla 3: Tipos de pirólisis y rendimientos típicos de productos

	Condiciones	Líquido (%)	Sólido (%)	Gas (%)
Lenta	Temperatura moderada 400°C. Baja velocidad de calentamiento. Tiempos de residencia del gas largos: 5-30 minutos	30	35	35
Moderada	Temperatura moderada 500°C. Velocidad de calentamiento media. Tiempos de residencia del gas: 10-20s	50	20	30
Rápida	Temperatura moderada 500°C. Alta velocidad de calentamiento. Tiempos de residencia del gas cortos: 1s.	75	12	13
Gasificación	Temperatura alta >750°C. Tiempo de residencia del gas: 10-20s	5	10	85

Fuente: (Agro Waste, 2013)

2.2.1 Pirólisis rápida

La pirólisis rápida se destaca, además, por realizarse en condiciones que favorecen altos coeficientes de transferencia de calor y tasas de calentamiento de la biomasa, en una temperatura alrededor de 500°C. La pirólisis es seguida por el rápido enfriamiento, separación y condensación de un líquido (Méndez et al., 2005). El tiempo de residencia muy corto (normalmente menor a 2-3 s) de los productos primarios de pirólisis permite maximizar el rendimiento de líquido, al evitar la fragmentación térmica y catalítica subsiguiente de vapores que dan lugar principalmente a productos gaseosos no condensables y también al impedir la recombinación de productos primarios de pirólisis a precursores de carbón (Agro Waste, 2013).

2.2.2 Variables que afectan a la pirólisis

Existen muchas variables que afectan el mecanismo y la cinética de las reacciones de pirólisis, que deben ser completamente comprendidas y tomadas en cuenta para que la formación del biochar no sea alterada. Estas incluyen la estructura del sustrato, el intervalo de calentamiento y la temperatura. Entre otras cosas, estas variables pueden tener un efecto demostrativo en la secuencia y cinética de las reacciones y, por lo tanto, en el rendimiento del producto. Al entender la influencia que tienen en el proceso, las condiciones de pirólisis pueden ser anticipadas y controladas para advertir o reducir reacciones secundarias no deseadas e irregularidades en las características

fisicoquímicas del producto. Igualmente, tienen gran influencia en la formación del producto deseado (Delvasto, 2017).

- **Composición del sustrato.**

La biomasa que se puede emplear para producir biocarbón está formada de materiales complejos y heterogéneos derivados de diferentes orígenes. Su estructura y composición varía de acuerdo a las especies de las cuales proviene y dichos componentes son responsables de la variedad y complejidad de los productos formados durante la pirólisis (Albuquerque et al., 2013) se encontraron que la mayoría de las propiedades agronómicas del biocarbón variaban de acuerdo a la materia prima. La heterogeneidad de la biomasa resulta ser un obstáculo para su uso químico, esto debido a que se obtiene un rendimiento más bajo al considerarse los productos individuales derivados de cada uno de sus elementos. Esto también afecta el rendimiento del biocarbón y de combustibles que pueden ser productos de la pirólisis (Escalante et al., 2016).

- **Intervalo de calentamiento.**

Este parámetro representa el aumento de temperatura por segundo, que aunado a la duración del calentamiento y a su intensidad, afectan la velocidad, grado, secuencia de las reacciones de pirólisis, y la composición de los productos resultantes. Las reacciones ocurren en una amplia gama de temperaturas; por lo tanto, los productos formados al principio tienden a experimentar una transformación adicional y su descomposición en una serie de reacciones consecutivas. Al ser más bajo el intervalo de temperatura se aumenta la producción de biocarbón y al ser mayor, disminuye. (Escalante et al., 2016).

- **Temperatura**

El tiempo requerido para obtener un cierto nivel de conversión disminuye con el incremento de temperatura. A baja temperatura, el carbón es el producto dominante, seguido por el agua. Las maderas duras producen menos carbón, pero más ácidos que las maderas blandas (Sohi et al., 2010).

2.3 Biomasa

Por biomasa se entiende el conjunto de materia orgánica de origen vegetal o animal y los procedentes de la transformación natural o artificial de la misma. La biomasa proviene de manera directa o indirecta de la reacción de la fotosíntesis vegetal que convierte la energía luminosa en energía química. Toda esta materia viva resultante, ya sea de formación vegetal o animal, cuando se descompone o degrada, libera la energía contenida en ella.

Por esta razón, los productos resultantes de la biomasa se pueden utilizar para fines energéticos siendo considerados como energía renovable (Rosas, 2015).

2.3.1 Biomasa aérea

Toda la biomasa viva por encima del suelo incluyendo el tronco, el tocón, las ramas, la corteza, semillas y las hojas. Cada especie forestal cuenta con su propia fórmula obtenida mediante la utilización de ecuaciones alométricas (Penman et al., 2003).

2.3.2 Biomasa lignocelulósica

Los principales componentes de la biomasa lignocelulósica (madera, cultivos y rastrojos de cultivos bioenergéticos) son: celulosa, hemicelulosa y lignina.

Sin embargo, las cantidades relativas de estos componentes puede variar considerablemente entre las diferentes especies, así como para una misma especie, debido a variaciones en el tipo de suelo, el momento de la cosecha y las condiciones climáticas (Dominguez, G. Aguirre, O. Jiménez, J. Dáz, 2009).

Debido a las diferencias estructurales, cada componente de la biomasa se descompone en intervalos de temperatura diferentes. La celulosa es más resistente a la descomposición térmica que la hemicelulosa, mientras que la lignina es más difícil de descomponer que la celulosa y la hemicelulosa (tabla 4) (Rosas, 2015).

Tabla 4: Componentes de la biomasa lignocelulósica y sus rangos de descomposición térmica

Componente	Temperatura de descomposición (°C)
Agua	>120
Hemicelulosa	200-260
Celulosa	240-350
Lignina	280-500

Fuente: (Rosas, 2015)

Por lo tanto los rendimientos en la producción de biochar son mayores con proporciones crecientes de lignina. Como tal, los materiales más adecuados para maximizar los rendimientos de producción de biochar son los de tipo leñoso, que presentan un alto contenido de lignina, tales como cáscaras de nuez, residuos de aserraderos y residuos forestales (Demirbas, 2009).

2.3.3 Composición química de la biomasa

La biomasa procedente de los residuos forestales está compuesta, mayormente por hemicelulosa, celulosa y lignina y cantidades menores de extractos. Las concentraciones relativas (expresadas en % en peso) de hemicelulosa, celulosa y lignina, pueden variar en función de la especie y se distribuyen, generalmente, entre un 15-30%, 40-60%, y 10-30%, respectivamente (Urien, 2013)

Las propiedades físico-químicas principales de los materiales que caracterizan la eficiencia posterior son: carbono fijo, contenido en humedad (intrínseca y extrínseca), contenido en ceniza, poder calorífico, materia volátil, contenidos en metales alcalinos y relación celulosa/hemicelulosa/lignina. Los contenidos de carbono fijo, materia volátil, cenizas y humedad son conocidos como análisis inmediato.

2.4 Podas forestales de áreas verdes urbanas

La Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca EMAC EP tiene a su cargo y responsabilidad el mantenimiento y arreglo de espacios verdes del cantón.

EMAC EP recolecta los materiales orgánicos de los mercados de la ciudad, los residuos que se generan en las áreas verdes (pasto y podas forestales) y el material orgánico de grandes generadores (centros comerciales y mega parques). Luego de un proceso técnico estos residuos se transforman en compost y humus, es decir, abono orgánico para las áreas verdes de la ciudad y para el uso de particulares que los requieren (EMAC, 2014).

2.5 Especies forestales de la zona urbana más comunes de la ciudad de Cuenca

En la zona urbana de la ciudad de Cuenca gracias a un estudio previo (Cordero, Vanegas, & Hermida, 2015) nos muestra que dentro de la distribución de especies el 51% del arbolado son eucaliptos, especie australiana introducida, sobre todo, en las orillas del río Yanuncay. Haciendo referencia es las especies forestales dentro de la zona urbana en cuanto a cantidad, priman las especies introducidas, existen 2,456 eucaliptos australianos, y no hay mayor variedad de otras especies (apenas 15 especies con más de 100 individuos).

Tabla 5: Especies más abundantes en el arbolado urbano de la ciudad de Cuenca

Especies más comunes	Número de árboles		Porcentaje
	Nativa	Introducidas	
<i>Acacia melanoxilon</i>		114	2,38
<i>Agave americana</i>	113		2,36
<i>Baccharis trinervis</i>	162		3,38
<i>Callistemon citrinus</i>		209	4,36
<i>Callistemon sp</i>		165	3,44
<i>Eucaliptus globulus</i>		2456	51,27
<i>Fraxinus chinensis</i>		139	2,90
<i>Hibiscus rosasinensis</i>		102	2,13
<i>Ligustrum japonicum</i>		141	2,94
<i>Populus alba</i>		111	2,32
<i>Salix babilonix</i>		155	3,24
<i>Sambucus nigrans</i>		151	3,15
<i>Schinus molle</i>	101		2,11
<i>Tecoma stands</i>	460		9,60
<i>Tecomaria</i>		211	4,41
Total	836	3,954	4,790
Porcentaje	17,45	82,55	100

Fuente: (Cordero et al., 2015)

2.5.1 Eucalipto

El eucalipto "*Eucalyptus globulus*" especie originaria de Australia y Tasmania (Moreno, et al., 2010). Fue introducido a la región austral del Ecuador en 1870, y se ha integrado plenamente a los ecosistemas andinos (Iglesias, S. Alegre, J. Salas, 2018), siendo todavía una especie muy desacreditada y relativamente poco estudiada.

Árbol de hasta 20 m, tienen una corteza seca y marrón, la cual, es muy problemática con altas temperaturas por el riesgo de incendio (Padilla, I. Asanza, 2001). La forma de sus hojas es ovalada y tienen un color verdoso cuando son jóvenes y un color azulado en su etapa adulta. La hoja del eucalipto y sus ramas tienen un gran valor ya que es la principal materia prima para la obtención de biochar (Ochoa et al., 2016) .

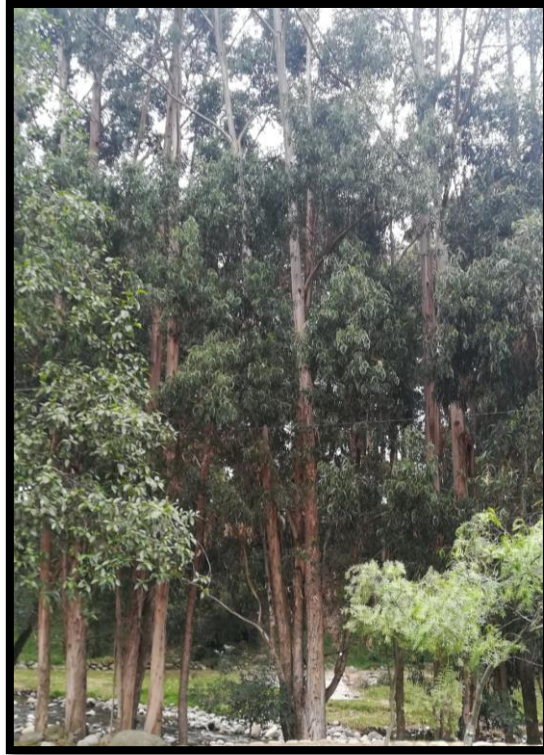


Figura 1: "*Eucalyptus globulus*"

2.5.2 Acacia

"*Acacia melanoxylon*" es una especie nativa del este de Australia, es un árbol de entre 8 y 15 m de altura, sin espinas, de corteza agrietada y color bastante oscura, como hace referencia el nombre (melanoxylon, madera de color negro). Las ramas son angulosas y pubescentes, las hojas, que carecen de estípulas, son en las plantas jóvenes bipinnadas, mientras que en las adultas están reducidas, desapareciendo completamente el limbo y ensanchándose el peciolo, formando una estructura llamada filodio. Vive en suelos húmedos pero especialmente en aquellos en los que haya un buen drenaje, bastante materia orgánica que aporten humedad y sean ácidos, desarrollados sobre sustratos silíceos (Carranza, 2007).



Figura 2: “*Acacia melanoxylon*”

2.5.3 Urapán

“*Fraxinus chinensis*” perteneciente a la familia de las Oleáceas originaria de Asia, es un árbol de hasta 30 m de altura, caducifolio, copa irregular con extenso follaje, paisajísticamente agradable por el color de sus hojas, sus flores color crema, tiene flores masculinas y femeninas, éstas últimas flores se desarrollan en forma de frutos secos, alargados y aplanados, conocidos como sámaras. Y sus frutos son de color café, plano y alargado, tienen la semilla guardada en uno de sus extremos (Infante-Betancour, Jaramuñoz, & Rivera-Díaz, 2008).



Figura 3: “*Fraxinus chinensis*”

2.6 Ciudad de Cuenca

Cuenca es la tercera ciudad más importante de Ecuador, después de Guayaquil y Quito, se encuentra en la Región Interandina del Ecuador (Región Sierra) en la parte sur con 329 928 habitantes en el área administrativa urbana según el último censo realizado el 28 de noviembre de 2010, siendo la zona urbana la que posee la mayor cantidad de habitantes con una superficie 70.59 Km² (Municipalidad de Cuenca, 2011).

Goza de un clima privilegiado por ubicarse dentro de un extenso valle en medio de la columna andina con una temperatura variable entre 7 a 15 °C en invierno y 12 a 25 °C en verano. La temperatura promedio de la ciudad es de 15 °C (Enciclopedia del Ecuador, 2016).

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ZONA DE ESTUDIO

Se evaluó el biochar de podas forestales de las áreas verdes de la ciudad de Cuenca, para esta evaluación se tomó en cuenta las especies forestales más comunes dentro de la ciudad. La producción de biochar se la realizó en la parroquia de Monay Baguanchi, ubicada de 2230 a 2650 ms.n.m. Dentro de la ciudad de Cuenca. La germinación de semillas de arveja se realizó en mi hogar en la zona urbana de la ciudad.

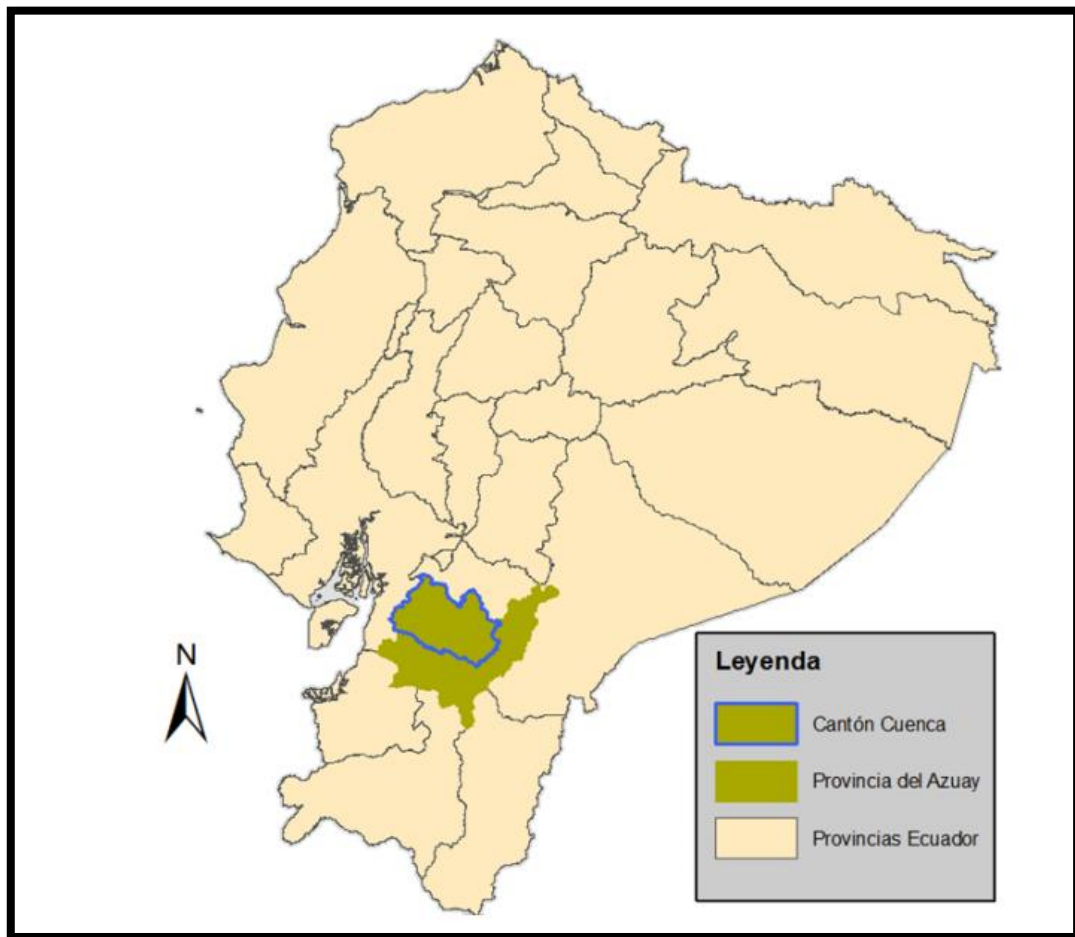


Figura 4: Ubicación de la zona de estudio

La ciudad de Cuenca se encuentra atravesada por los ríos Tomebamba, Tarqui, Yanuncay y Machángara, al centro-sur de la región interandina del Ecuador, con un clima andino de 15°C, hidrográficamente pertenece a la cuenca del río Paute (Municipalidad de Cuenca, 2011).

3.2 POBLACION Y MUESTRA

3.2.1 Población

En la figura 5 se muestra las áreas verdes de la ciudad de Cuenca

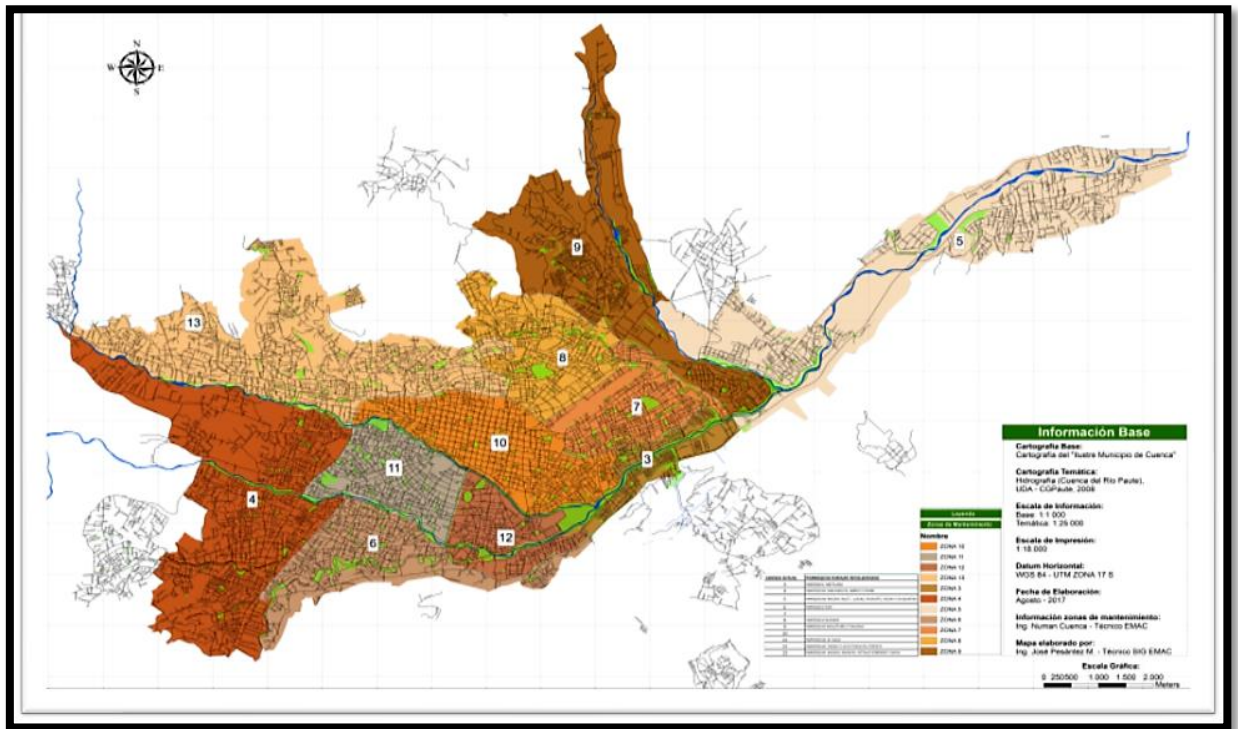


Figura 5: Zonificación de áreas verdes de la EMAC EP

En la ciudad de Cuenca en la zona urbana existen 208 parques o áreas verdes, las zonas consideradas para la selección de las muestras de podas fueron considerados los parques más extensos y representativos de la ciudad, los cuales son:

- Parque de la Madre

Tabla 6: Ubicación de coordenadas del parque de la Madre

Punto	Coordenadas	
	x	y
1	9678830,75 m	721936,11 m
2	9678728,94 m	721846,05 m
3	9678754,38 m	727854,38 m
4	9678883,70 m	721926,43 m

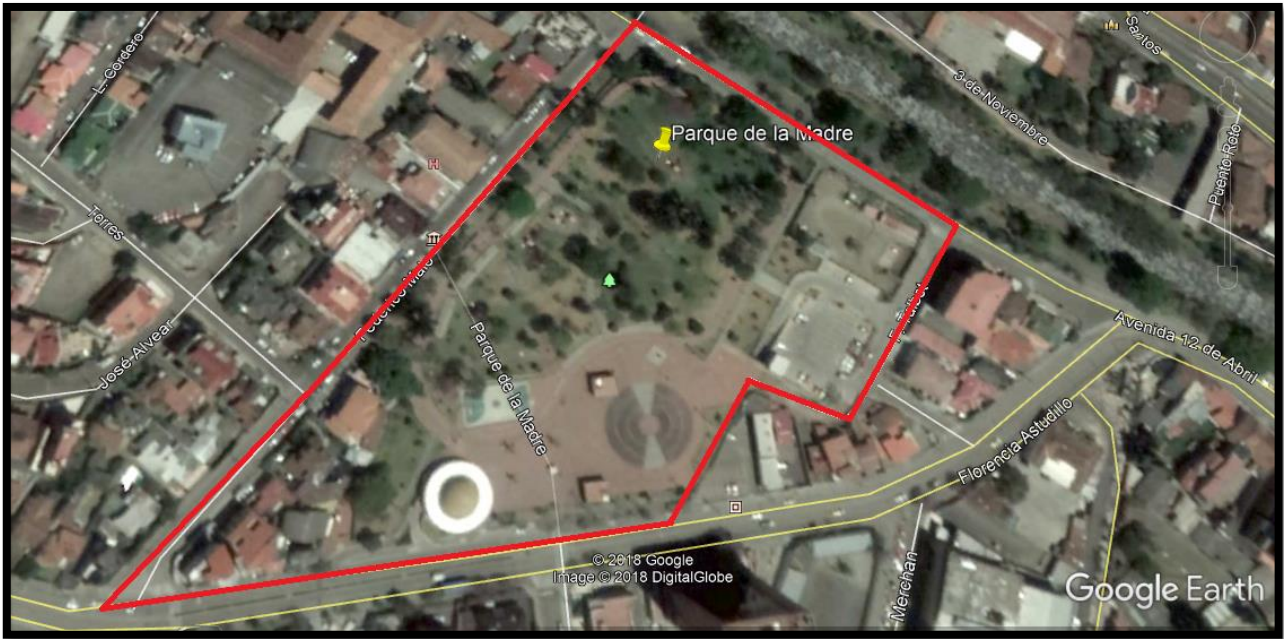


Figura 6: Delimitación del parque de la Madre

Fuente: Google earth 2018

- Parque Miraflores

Tabla 7: Ubicación de coordenadas del parque Miraflores

Punto	Coordenadas	
	x	y
1	9681099,54 m	722967,52 m
2	9680831,99 m	722929,81 m
3	9680976,29 m	723258,78 m
4	9681198,26 m	722952,59 m



Figura 7: Delimitación del parque Miraflores

Fuente: Google earth

- Parque el Paraíso

Tabla 8: Ubicación de coordenadas del parque el Paraíso

Punto	Coordenadas	
	x	y
1	9678159,40 m	723693,57 m
2	9677790,53 m	723408,61 m
3	9678421,04 m	724153,40 m
4	9678192,84 m	723127,19 m



Figura 9: Materiales de campo



Figura 10: Muestras de podas forestales

3.4 METODOLOGIA

RECOLECCION DE LA MATERIA PRIMA

Se tomaron tres tipos de residuos de podas forestales los cuales fueron: eucalipto, acacia y urapán. La muestra será de 5 a 10 kg por cada tipo de poda forestal respectivamente, cada muestra fue obtenida directamente de las áreas verdes urbanas, estas muestras serán escogidas al azar mediante recolección manual (Guerra, 2014).

ACONDICIONAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA

Las muestras recolectadas fueron previamente secadas a temperatura ambiente en un entorno abierto y con techo para protegerlas de las lluvias, esto ayudo a controlar los porcentajes de contenido de humedad caso contrario se requerirá gran cantidad de energía para eliminar el contenido de humedad, para luego ser llevadas directamente al horno pirolítico (Guerra, 2014).



Figura 11: Acondicionamiento de la biomasa de eucalipto

DISEÑO Y FABRICACION DEL HORNO PIROLÍTICO

La construcción del horno pirolítico se basó en el diseño común de dos tambores cilíndricos destinados para la producción de biochar en lotes de pequeñas cantidades para fines de análisis e investigación. El diseño se ajustó para las cantidades teóricas iniciales de biomasa y de producción de biochar y fue elaborado de forma artesanal.



Figura 12: Diseño del horno pirolítico

- Componentes y dimensiones del horno pirolítico:

Un tambor cilíndrico vertical pequeño representa la cámara interna del horno y sus dimensiones son de 27 cm de diámetro y 28 cm de alto, un volumen de 0.039 m^3 y con una capacidad de 2 - 5 kg, dependiendo de la densidad de la biomasa.



Figura 13: Dimensiones del tambor cilíndrico interno

Un tambor cilíndrico grande representa la cámara de combustión externa del horno y sus dimensiones son de 58 cm de diámetro y 45 cm de alto con un volumen de 0.260 m³.



Figura 14: Dimensiones del cilindro externo

PRODUCCION DE BIOCHAR

A partir de las tres especies forestales seleccionadas se obtuvo tres tipos de biochar, el método que fue aplicado en este trabajo para la obtención de biochar es el de pirólisis rápida (Lehmann et al., 2011) .La carbonización de la biomasa se realizó en un horno pirolítico a temperaturas medianamente bajas, se puede controlar el tiempo pero de manera aproximada.

Para cada lote de producción de biochar se controlaron las entradas de aire en ambos tambores o cámaras puesto que el proceso de pirólisis se debe llevar a cabo en condiciones de entrada de oxígeno limitado.

El espacio libre comprendido entre los dos tambores fue llenado con materiales combustibles tales como leña y hojas secas. Una vez completado todo el espacio libre, se les prendió fuego a los materiales y cuando las llamas empezaron a arder se colocó cuidadosamente la tapa del tambor externo

El proceso de pirólisis, en promedio, duró un aproximado de 1.5 – 2 horas, y el proceso de enfriamiento del sistema duró unas 3 horas posteriores.

En total, se realizaron seis quemas para la obtención de biochar, dos quemas de cada especie forestal respectivamente, cada especie antes de ser introducida al horno pirolítico fue pesada para llevar a cabo una relación de entrada vs salida, a continuación en la tabla 10 se muestra los datos tomados en la prueba de campo.

Tabla 10: Datos tomados para la producción de biochar

Condiciones climáticas				Peso kg		
Fecha	Temperatura ambiente	Humedad ambiente	viento	Especie	Entrada	Salida
				Acacia	3,2	2,4
27/11/2018	18°C	58%	14km/h	Urapán	3,5	2,4
				Eucalipto	4,5	2,7
				Acacia	3,6	2,4
28/11/2018	17°C	57%	12km/h	Urapán	3,5	2,4
				Eucalipto	4,2	2,5



Figura 15: Acondicionamiento de las entradas de aire del tambor externo



Figura 16: Llenado de la cámara interna con la biomasa seca



Figura 17: Acondicionamiento con leña en el espacio libre comprendido entre las dos cámaras.



Figura 18: Inicio de la llama



Figura 19: Inicio del proceso de pirólisis



Figura 20: Biochar obtenido luego del proceso de enfriamiento

PRUEBAS DE GERMINACIÓN EN SEMILLAS DE ARVEJA

Las pruebas de germinación de semillas de arveja se realizaron con tres tipos de biochar y se elaboraron 3 repeticiones, estas pruebas se realizaron en pequeñas bandejas para poder observar el proceso de germinación. La etapa de imbibición puede ser dividida en dos fases:

- a) Rápida captación de agua que se completa aproximadamente en 2 días y en que la semilla aumenta significativamente de volumen.
- b) Baja tasa de captación de agua e incremento en la actividad metabólica de la semilla (Checa Coral & Bastidas Acosta, 2017).

A través de procesos enzimáticos, parte del material de reserva de los cotiledones va quedando gradualmente disponible para el crecimiento del eje embrionario. Este crecimiento determina la aparición de la radícula entre uno o dos días después (Ilguan Caizaguano & Carrasco, 2016)

Pruebas preliminares de germinación

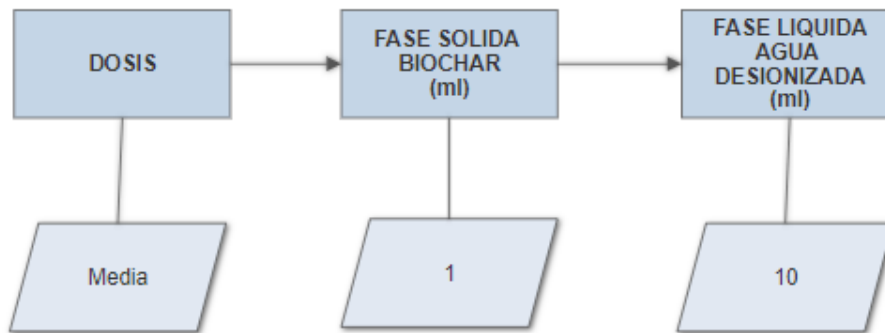
Esta etapa inicial de observación y comprobación consistió en verificar la germinación de las semillas en los tratamientos con una disolución 1:10 con biochar de cada especie. Se tomó en cuenta el material empleado y el lugar con mejor respuesta.

- A los 2 días se observó una germinación del 70% de la semilla
- En la ubicación de las bandejas se observó que los primeros brotes estuvieron con dirección hacia la luz solar, todas las semillas tiene sus brotes hacia la luz solar, esto no afectó significativamente la investigación ya que las semillas más alejadas de la luz solar brotaron de igual manera a las que estuvieron más cercanas.

Elaboración de diluciones

La preparación de diluciones, consistió en moler el biocarbón en un molino casero, hasta obtener un producto fino. Se estableció las dosis aplicables en las diluciones con referencia al estudio de (Gilces, 2014) : volumen sobre volumen en la siguiente relación: dilución en extracto acuoso 1:10. Se realizaron diluciones de agua desionizada mezclada con biochar con los tres tipos respectivamente.

Se determinó parámetros aplicables para las dosis en las diluciones (Gilces, 2014):



- Volumen/ volumen ; relación : dilución en concentración acuosa 1:10 (Iglesias, 2018)



Figura 21: Relación fase sólida biochar: fase líquida agua desionizada.

Germinación de las semillas

Establecida la dosis de biochar para las disoluciones, se efectuaron las pruebas de aplicación de biochar a la semilla, se colocaron 10 semillas de arveja en cada bandeja con una distancia de 2 a 3 cm entre cada semilla.

En la tabla 11 se muestra un registro de datos observados durante el periodo de germinación.

Tabla 11: Datos registrados de inicio a fin del periodo de germinación de semillas

Número de Evaluación	Fecha de evaluación	Datos Registrados
1	13 de Diciembre	Día inicial de siembra
2	14 de Diciembre	Número de semillas germinadas a las 24 h
3	15 de diciembre	Número de semillas germinadas a las 48h
4	16 de diciembre	Primeros brotes en las semillas
5	17 de diciembre	Número de brotes en las semillas a las 96h
6	20 de Diciembre	Crecimiento de semillas sobre los 2cm
7	22 de Diciembre	Crecimiento de semillas sobre los 5cm
8	25 de Diciembre	Crecimiento de semillas sobre los 10cm
9	27 De Diciembre	Crecimiento de semillas sobre los 15cm
10	29 de Diciembre	Crecimiento de semillas sobre los 20cm

Fuente: (Iglesias, 2018)



Figura 22: Pruebas de germinación



Figura 23: Día inicial de siembra



Figura 24: Aparición de la radícula



Figura 25: Crecimiento de semillas sobre los 2 cm

En todas las bandejas se aplicó la misma cantidad de diluciones establecida anteriormente (concentración acuosa 1:10):

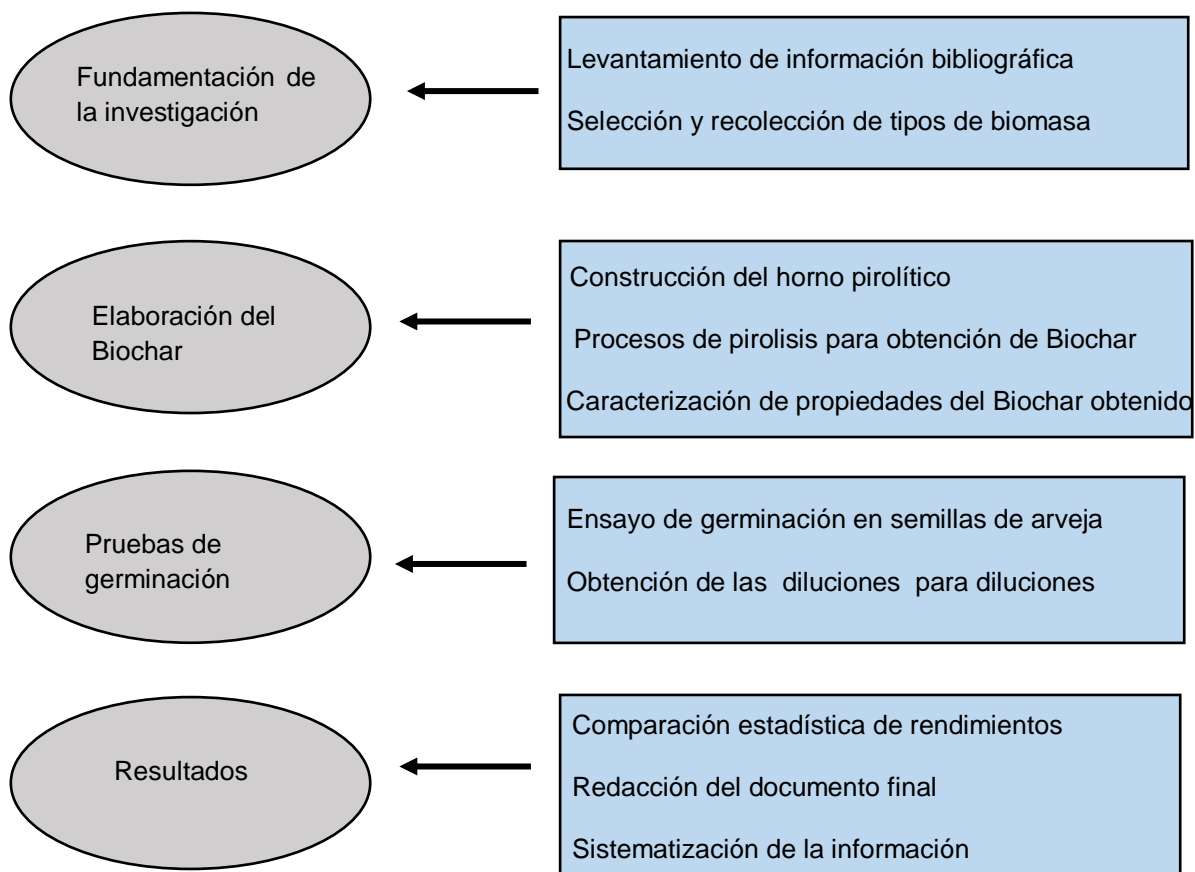
1 ml fase solida de biochar

10 ml fase liquida de agua desionizada



Figura 26: Crecimiento de semillas sobre los 10 cm

Metodología de la investigación



Fuente: (Iglesias, 2018)

3.5 CARACTERIZACION DEL BIOCHAR

3.5.1 Análisis macro nutrientes

Se determinaron los siguientes elementos constituyentes para los tres tipos de biochar obtenidos en el laboratorio IHTALAB:

Análisis	Método de ensayo
Nitrógeno	SM 4500 – NC
Potasio	EPA 6020 B
Calcio	EPA 6020 B
Magnesio	EPA 6020 B
Azufre	EPA 6020
Fosforo	SM 4500 P B-C

3.5.2 Análisis del rendimiento del biochar

El rendimiento se calculó en base a la relación entre la cantidad o peso del producto final obtenido (biochar enfriado) y de la materia prima (biomasa seca) usada al inicio del proceso. La relación es expresada en porcentaje (Guerra, 2014):

Rendimiento = (Peso del biochar/peso de la biomasa seca) x 100

3.5.3 Análisis de las propiedades químicas elementales

pH (4:10 sólido-líquido):

Para la determinación del pH se siguió el siguiente método de ensayo: Potencial de Hidrogeno; AAA-PE-S014 / EPA 9045 B

Conductividad eléctrica:

Para la determinación de la conductividad eléctrica se siguió el siguiente método de ensayo: Conductividad eléctrica; PEE-LASA FQ – 55 / SM 2510B

3.5.4 Análisis estadístico

Para la comparación del porcentaje de rendimiento en la germinación de semillas con la aplicación de diluciones de biochar se utilizó el análisis de variancias (ANOVA). Posteriormente se realizó la prueba de Tukey (5%). Así también, se realizaron pruebas de error relativo, medias y clases. Se realizaron análisis gráficos para comparar, de igual manera porcentajes de germinación. Los cálculos se realizaron en el programa estadístico INFOSTAT.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Producción de biochar

Los tres tipos de biochar fueron producidas en un tiempo de 1.5 a 2 horas aplicando el método de pirólisis rápida en el horno pirolítico de doble barril diseñado artesanalmente para la producción en pequeñas cantidades con fines de investigación y análisis, cada materia prima fue pirolizada dos veces.

Durante el proceso de producción de biochar, aproximadamente a unos 20-30 minutos de iniciado el fuego, el material (leña) que se usó como combustible se encontró ardiendo. Posteriormente, se procedió a tapar el horno pirolítico para evitar la entrada de oxígeno ya que en este proceso de pirólisis el oxígeno es un factor determinante, en la figura 27 se muestra el horno pirolítico tapado y la salida de vapor.

Finalmente, dependiendo del contenido y cantidad, la biomasa ubicada en la cámara interna empezó a arder luego de unos 40 minutos aproximadamente de iniciado el proceso, la flama se tornó de color rojo/azul acompañada de un menor humo, esta fue la señal que indicaba que el proceso de pirólisis de acuerdo con la revisión bibliográfica investigada para este estudio.



Figura 27: Control de humo en el proceso de pirólisis

Las figuras 28, 29 y 30 representan las muestras resultantes de biochar de cada especie de poda forestal y en la tabla 3 se detallan los rendimientos alcanzados en la producción de biochar y la cantidad de biochar obtenidos en cada quema de producción.



Figura 28: Muestra de biochar de urapán



Figura 29: Muestra de biochar de acacia



Figura 30: Muestra de biochar de eucalipto

Se puede observar de forma general, que el biochar resultante de la pirólisis conserva el tamaño y forma de su materia prima original.

En la tabla 12 se muestra el tiempo empleado para la obtención de biochar, se muestra el peso de biomasa ingresada y el peso de del biochar obtenido de cada especie.

Tabla 12: Tiempo de elaboración del biochar

Materia prima	Biomasa(kg)	Biochar (kg)	Tiempo (hora)
Urapán	3,5	2,4	2
Acacia	3,2	2,4	1,5
Eucalipto	4,5	3,2	1,5
Urapán	3,5	2,4	2
Acacia	3,6	2,4	1,5
Eucalipto	4,2	3,1	1,5

4.2 Caracterización del biochar

Los detalles del análisis detallan, comparan y confirman las características especiales que tiene el biochar, en este análisis se revisaron los siguientes aspectos:

4.2.1 Potencial de hidrogeno (pH):

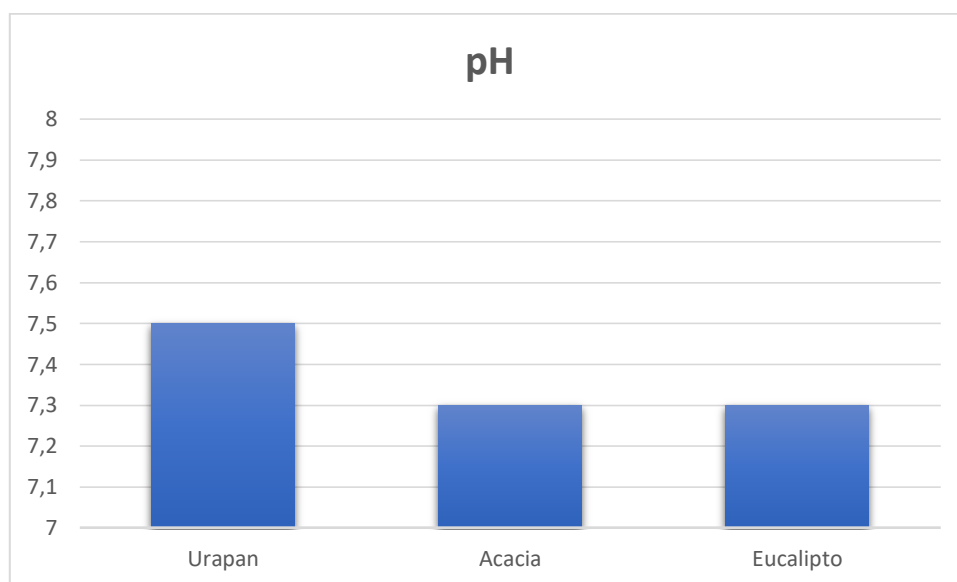


Figura 31: Niveles de pH de los tipos de biochar

El pH más alto es el de urapán, que está en un rango de 7 a 7,5 este valor está dentro del rango de valores altos de pH, que pueden servir como compensador de acidez (Iglesias, 2018).

(Olmo, M. Villar, R. Salazar, 2015) en su estudio sobre *“Changes in soil nutrient availability explain biochars impact on wheat root development”* realizó la obtención de biochar utilizando como biomasa la poda de olivo y la paja de trigo, tuvo como resultados de pH: 7,52 y 7,89 la mayoría de los biochars son alcalinos ($\text{pH} > 7$) y dependiendo de la dosis aplicada, pueden ejercer un efecto de encalado en su aplicación (Zwieten, Kimber, & Morris, 2010)

Otros valores obtenidos en *“Pirólisis de biomasa para la obtención de biocarbón y su efecto en el rendimiento de tomate”* (Herrera, 2018) fueron los siguientes: olote de maíz 5,99 rastrojo de maíz 6,19 rastrojo de ajonjolí 6,02 y cascarilla de arroz 5,86 el tiempo de pirólisis rápida empleado en este estudio fue de aproximadamente 60 minutos.

(Canales, 2017) obtuvo un pH neutro promedio 6,9 teniendo como materia prima restos de pino, cascara de limón y cascara de almendra.

4.2.2 Conductividad eléctrica

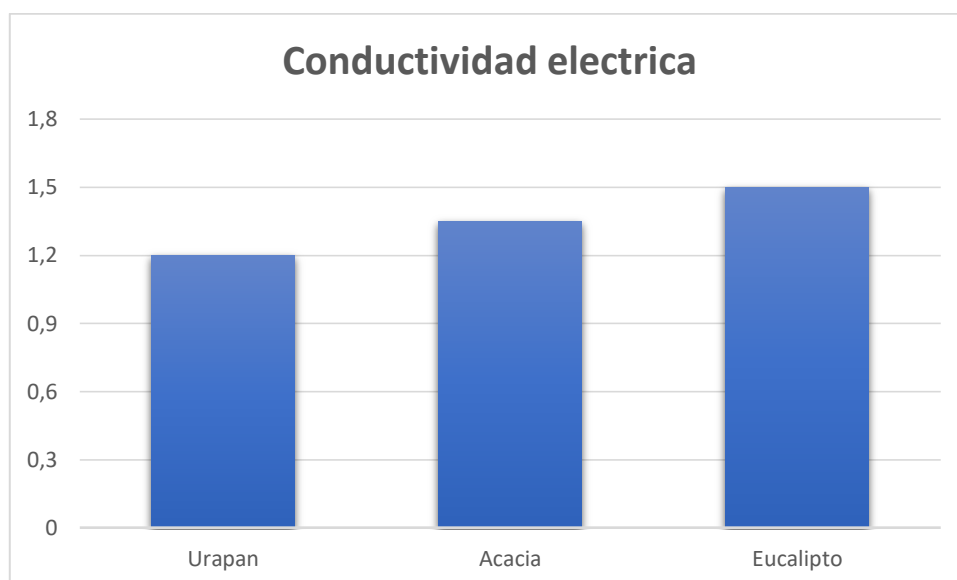


Figura 32: Conductividad eléctrica en diferentes tipos de biochar (mS/cm)

Para la conductividad eléctrica se puede observar en la figura 34 diferencias entre los tipos de biochar, especialmente con el de eucalipto, que tiene un valor de 1,5 siendo el mayor con respecto a las otras especies, dentro de un rango comparativo con otros estudios (Guerra, 2014; Iglesias, 2018) los valores de conductividad eléctrica son muy bajos.

(Canales, 2017) señala que fue apropiado caracterizar los valores de la CE de los biocarbones para evitar la creación de efectos no deseados de las sales, especialmente a altas tasas de aplicación de biocarbón. El valor de CE del biocarbon derivado de la cáscara de almendra fue (0,27 mS/cm) en los restos de pino (1,45 mS/cm) y limón (1,03 mS/cm) lo que indica un bajo porcentaje en sales para todos los biocarbones.

(Pérez, R. Tapia, A. Soto, G. Benjamin, 2013) en su estudio “*Efecto del Bio-carbón sobre Fusarium oxysporum f. sp. cubense y el desarrollo de plantas de banano (Musa AAA)*” obtuvieron un valor de 0,7 para el caso de la conductividad eléctrica presentada por el biochar, si se compara su valor con los utilizados para interpretar los valores de conductividad eléctrica, estaría dentro del rango de no salino (Carranza, 2007) lo cual indica que no representa un riesgo para el desarrollo de plantas.

4.2.3 Macronutrientes

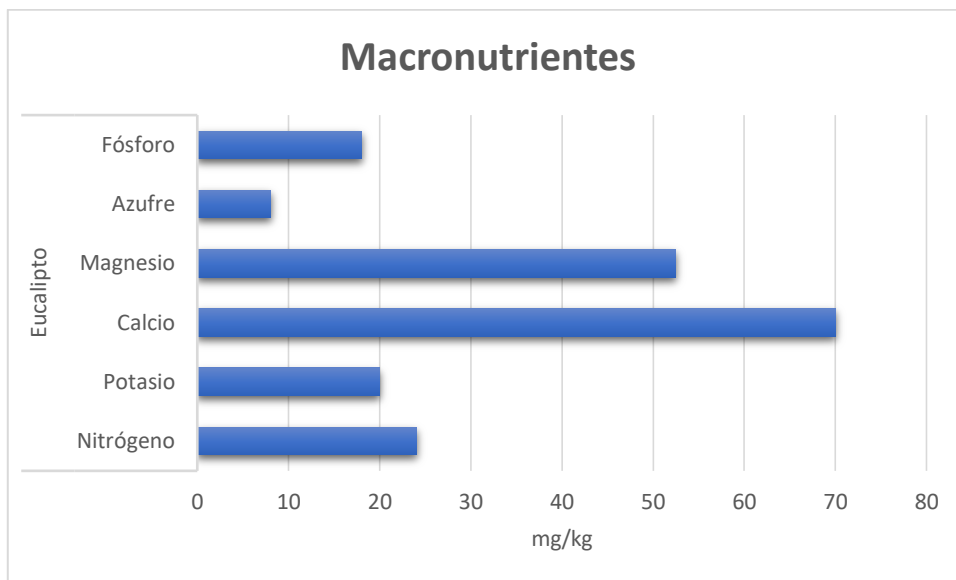


Figura 33: Valores de macronutrientes de biochar de eucalipto

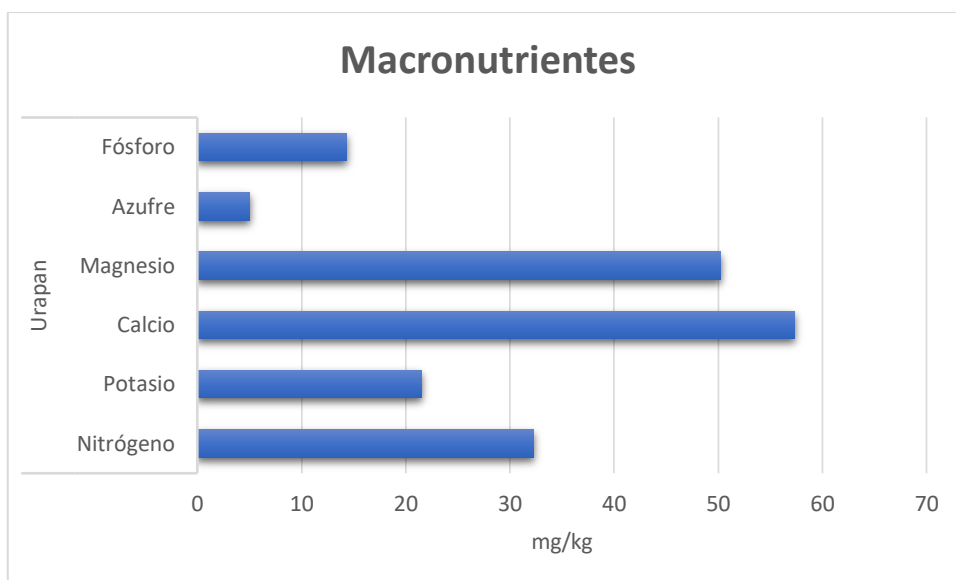


Figura 34: Valores de macronutrientes de biochar de urapán

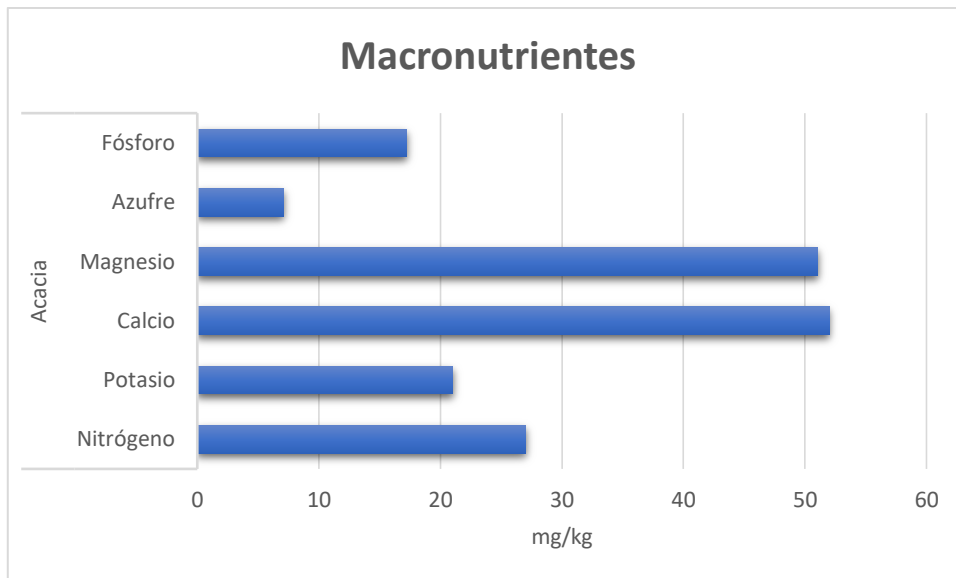


Figura 35: Valores de macronutrientes de biochar de acacia

En la figura 35 se observa que en el biochar de eucalipto se encuentra ligeramente agotado en Nitrógeno frente a otros nutrientes térmicamente más estables, según al estudio de (Guerra, 2014) esto es debido a que durante el proceso de pirólisis, el calor generado ocasiona que algunos nutrientes se volatilicen y otros se concentren en el biochar resultante.

Para la mayoría de los biochars el contenido de potasio es significativamente mayor sobre el contenido de Fósforo. Estos tipos de biocarbón presentan, además una ceniza rica en calcio, lo que facilitaría su uso como agente modificador de pH (alcalinizador de suelos) (Méndez, 2017).

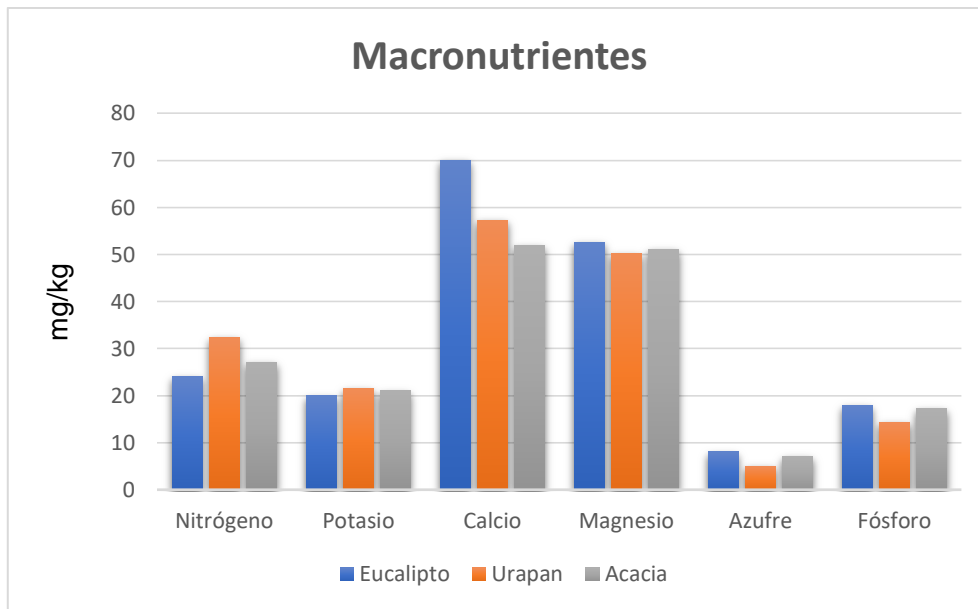


Figura 36: Análisis comparativo de macronutrientes de las tres tipos de biochar

En síntesis, el biocarbón de eucalipto resultaría más útil en la germinación de semillas para mejorar su capacidad de retención de agua y que se vean beneficiados por la presencia de nutrientes, tales como el potasio, magnesio y fósforo.

(Herrera, 2018), en su estudio sobre *“Pirólisis de biomasa para la obtención de biocarbón y su efecto en el rendimiento de tomate”* obtuvo valores de macronutrientes de diferentes tipos de biomasa: el rastrojo de maíz presenta niveles de fósforo 11,55 mg/L y 5,32 mg/L de azufre, rastrojo de ajonjolí fósforo 7,17 mg/L y azufre 8,32 mg/L cascarilla de arroz fósforo 7,28 mg/L y azufre 6,61 mg/L y olote de maíz fósforo 1,94 mg/L y azufre 5,52 mg/L.

De igual manera (Pérez, R. Tapia, A. Soto, G. Benjamin, 2013) muestran valores de macronutrientes nitrógeno 5 mg/L, fósforo 4 mg/L, calcio 8 mg/L, magnesio 5 mg/L, potasio 5 mg/L y azufre 2 mg/L.

4.3 Análisis estadístico y resultados de la germinación de semillas de arveja

Para el desarrollo del análisis estadístico de los datos se propuso la aplicación de la prueba estadística ANOVA y el método de varianza HSD de Tukey. El primero es un análisis de varianzas a partir de una base de datos para comparar las medias entre las muestras. En el caso particular de este estudio, se plantearon dos escenarios para el comportamiento de los datos: la hipótesis nula, que nos indica si no existe diferencia entre la media de los datos y la hipótesis alternativa que plantea una diferencia entre estos. Por otra parte, el método de Tukey agrupa las medias en diferentes familias y las compara entre sí para determinar si una muestra difiere de la otra.

Planteamiento de la hipótesis:

¿Existe diferencia estadísticamente significativa en las medias del promedio de porcentaje de germinación de semillas?

Las hipótesis planteadas para el análisis ANOVA, son las siguientes:

$$\text{Hipotesis nula: } H_0: \mu_d = 0$$

$$\text{Hipotesis alternativa: } H_1: \mu_d \neq 0$$

Hipótesis nula: Las medias del porcentaje de semillas germinadas son iguales, con 95% de confiabilidad.

Hipótesis alternativa: Las medias del porcentaje de semillas germinadas es distinto, en al menos un tratamiento, con un 95% de confiabilidad.

En las siguientes tablas se muestran los resultados de los datos observados y tomados durante el periodo de germinación:

Numero de evaluación: 2

Fecha: 14 de Diciembre de 2018

Datos registrados:

Tabla 13: Resultados de los datos observados a las 24 horas

% de semillas germinadas			
	R1	R2	R3
Urapán	60	60	70
Acacia	70	80	70
Eucalipto	70	80	80

Resolución de la hipótesis:

A partir de las hipótesis planteadas con un nivel de significancia de 0,05, se obtuvieron mediante software las variables para el análisis respectivo, teniendo como resultados un «valor de prueba F» de 4,33 y el «valor P» de <0,0685; partiendo de que el «valor P» es menor al nivel de significancia (0.05), estos valores sugieren rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, la cual establece que las medias del porcentaje de germinación para las muestras (urapán, acacia y eucalipto) mostradas en la tabla 14 no son iguales, con una confianza del 95%.

Tabla 14: Análisis estadístico de los resultados observados a las 24 horas

Tratamiento	Medias	n	E.E	Clase
Urapán	63,33	3	3,33	A
Acacia	73,33	3	3,33	A
Eucalipto	76,67	3	3,33	A

Con relación al método de Tukey, se debe identificar que tratamiento tiene mayor diferencia en las medias. Los resultados obtenidos y expuestos en la Tabla 14, indican que el eucalipto tiene la mayor media correspondiente al porcentaje de germinación con un valor de 76,67 seguido de la acacia y urapán con valores de 73,33 y 63,33 respectivamente. Además, existe un error estándar de 3,33% para cada una de las muestras y grado de libertad igual a 8. En el caso de la clase de las muestras, están representadas con la letra A. La interpretación de esta columna indica que; si las muestras comparten la misma letra, sus medias son bastante similares cuantitativamente, y las que no comparten letra son significativamente diferentes. La clase A es compartida por las muestras urapán, acacia y eucalipto, esto evidencia una cierta proximidad en las medias de estas muestras.

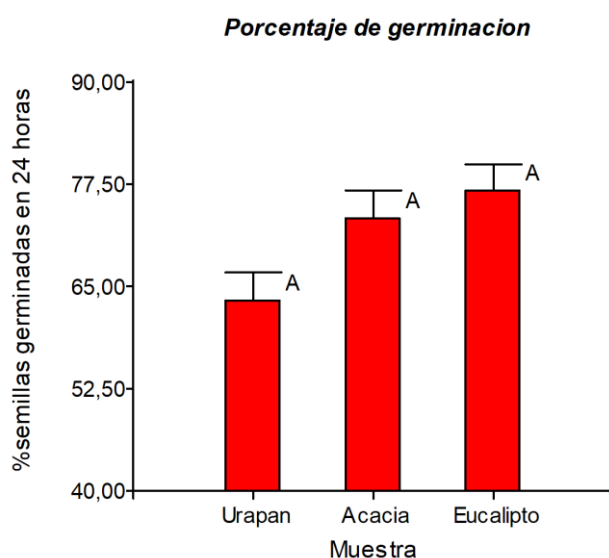


Figura 37: Porcentaje de semillas germinadas en 24 horas

En la Figura 37, se pueden visualizar los porcentajes de semillas germinadas en 24 horas para cada una de las muestras (urapán, acacia y eucalipto), además de sus clases y error estándar. Como se mencionó anteriormente, la muestra del eucalipto tiene el mayor porcentaje de germinación con un valor de 76,67% seguido de la acacia con un

valor de 73,3%, el urapán con 63,33%. El extremo superior de la caja representa las clases de las muestras y el error estándar correspondiente a 3,33%.

Como se aprecia en la figura 39 el porcentaje de germinación no alcanza la totalidad de germinación en los tratamientos expuestos a dosis de biochar, puesto que no llegaron al cien por ciento de germinación de las semillas. Esta tendencia también se observó en la evolución a las 48 y 96 horas en que se tomaron los datos. Aspecto que también fue reportado en anteriores estudios de germinación (Vilora, H. Mendez, 2011).

Numero de evaluación: 3

Fecha: 15 de Diciembre de 2018

Datos registrados: Numero de semillas germinadas a las 48 horas

Tabla 15: Resultados de los datos observados a las 48 horas

% de semillas germinadas			
	R1	R2	R3
Urapán	70	70	70
Acacia	70	80	80
Eucalipto	80	80	90

Resolución de la hipótesis:

A partir de las hipótesis planteadas con un nivel de significancia de 0,05, se obtuvieron mediante software las variables para el análisis respectivo, teniendo como resultados un «valor de prueba F» de 6,00 y el «valor P» de <0,0370; partiendo de que el «valor P» es menor al nivel de significancia (0,05), estos valores sugieren rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, la cual establece que las medias del porcentaje de germinación para las muestras (testigo, urapán, acacia y eucalipto) mostradas en la tabla 16 no son iguales, con una confianza del 95%.

Tabla 16: Análisis estadístico de los resultados observados a las 48 horas

Tratamiento	Medias	n	E.E	Clase
Urapán	70,00	3	2,72	A
Acacia	76,67	3	2,72	A B
Eucalipto	83,33	3	2,72	B

Con relación al método de Tukey, se debe identificar que tratamiento tiene mayor diferencia en las medias. Los resultados obtenidos y expuestos en la Tabla 16, indican que el eucalipto tiene la mayor media correspondiente al porcentaje de germinación con un valor de 83,33 seguido de la acacia y urapán con valores de 76,67 y 70 respectivamente. Además, existe un error estándar de 3,73% para cada una de las muestras y grado de libertad igual a 8. En el caso de la clase de las muestras, están

representadas con las letras A y B. La interpretación de esta columna indica que; si las muestras comparten la misma letra, sus medias son bastante similares cuantitativamente, y las que no comparten letra son significativamente diferentes. La acacia tiene una proximidad en las medias con respecto al eucalipto y urapán.

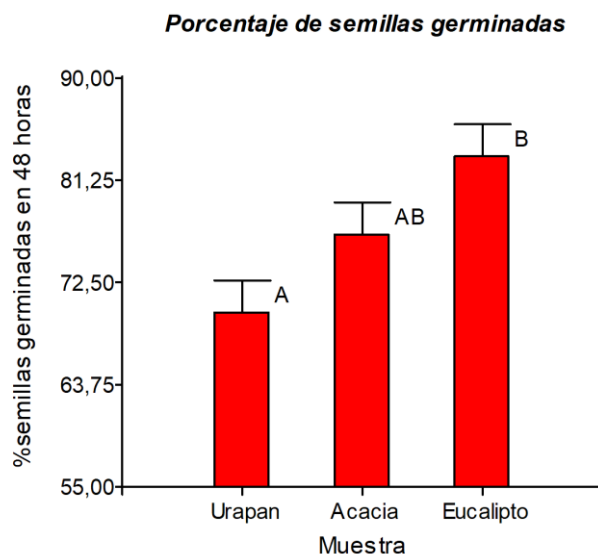


Figura 38: Porcentaje de semillas germinadas en 48 horas

En la Figura 38, se pueden visualizar los porcentajes de semillas germinadas en 48 horas para cada una de las muestras (urapán, acacia y eucalipto), además de sus clases y error estándar. Como se mencionó anteriormente, la muestra del eucalipto tiene el mayor porcentaje de germinación con un valor de 83,33% seguido de la acacia con un valor de 76,67%, el urapán con 70%. El extremo superior de la caja representa las clases de las muestras y el error estándar correspondiente a 3,73%.

Numero de evaluación: 4

Fecha: 16 de Diciembre de 2018

Datos registrados: Primeros brotes en las semillas

Tabla 17: Resultados de los datos observados de los primeros brotes

% de semillas germinadas			
	R1	R2	R3
Urapán	40	40	50
Acacia	40	30	50
Eucalipto	60	50	50

Resolución de la hipótesis:

A partir de las hipótesis planteadas con un nivel de significancia de 0,05, se obtuvieron mediante software las variables para el análisis respectivo, teniendo como resultados un «valor de prueba F» de 2,60 y el «valor P» de <0,1537; partiendo de que el «valor P» es menor al nivel de significancia (0,05), estos valores sugieren rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, la cual establece que las medias del porcentaje de germinación para las muestras (urapán, acacia y eucalipto) mostradas en la tabla 18 no son iguales, con una confianza del 95%.

Tabla 18: Análisis estadístico de los resultados en los primeros brotes de semillas

Tratamiento	Medias	n	E.E	Clase
Urapán	40, 00	3	4,30	A
Acacia	43, 33	3	4,30	A
Eucalipto	53, 33	3	4,30	A

Con relación al método de Tukey, se debe identificar que tratamiento tiene mayor diferencia en las medias. Los resultados obtenidos y expuestos en la Tabla 18, indican que el eucalipto tiene la mayor media correspondiente al porcentaje de germinación con un valor de 53,33 seguido de la acacia y urapán con valores de 43,33 y 40 respectivamente. Además, existe un error estándar de 4,30% para cada una de las muestras y grado de libertad igual a 8. En el caso de la clase de las muestras, están representadas con la letra A. La interpretación de esta columna indica que; si las muestras comparten la misma letra, sus medias son bastante similares cuantitativamente, y las que no comparten letra son significativamente diferentes. La clase A es compartida por las muestras urapán, acacia y eucalipto, esto evidencia una cierta proximidad en las medias de estas muestras.

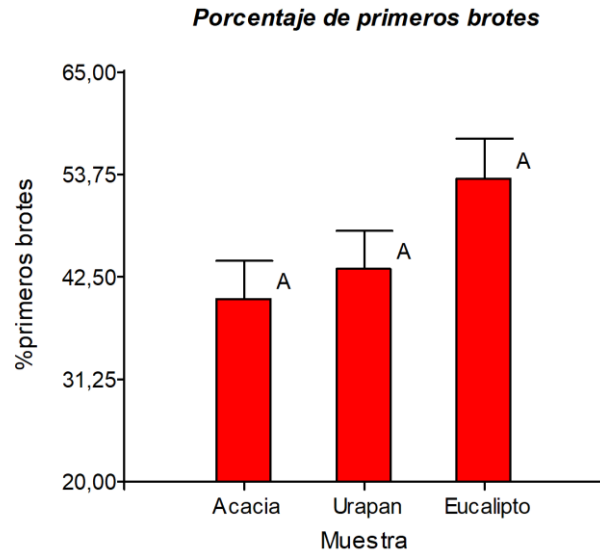


Figura 39: Porcentaje de primeros brotes en las semillas germinadas

En la Figura 39, se pueden visualizar los porcentajes de semillas germinadas para cada una de las muestras (urapán, acacia y eucalipto), además de sus clases y error estándar. Como se mencionó anteriormente, la muestra del eucalipto tiene el mayor porcentaje de germinación con un valor de 53,33% seguido de la acacia con un valor de 43,33%, el urapán con 40%. El extremo superior de la caja representa las clases de las muestras y el error estándar correspondiente a 4,30%.

Numero de evaluación: 5

Fecha: 17 de Diciembre de 2018

Datos registrados: Numero de brotes en las semillas a las 96 horas

Tabla 19: Resultados de los datos observados a las 96 horas

% de semillas germinadas			
	R1	R2	R3
Urapán	50	40	50
Acacia	50	50	60
Eucalipto	80	70	90

Resolución de la hipótesis:

A partir de las hipótesis planteadas con un nivel de significancia de 0,05, se obtuvieron mediante software las variables para el análisis respectivo, teniendo como resultados un «valor de prueba F» de 16,80 y el «valor P» de <0,0035; partiendo de que el «valor P» es menor al nivel de significancia (0,05), estos valores sugieren rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, la cual establece que las medias del porcentaje de germinación para las muestras (urapán, acacia y eucalipto) mostradas en la tabla 20 no son iguales, con una confianza del 95 %.

Tabla 20: Análisis estadístico del número de brotes en las semillas a las 96 horas

Tratamiento	Medias	n	E.E	Clase
Urapán	46, 67	3	4,30	A
Acacia	53, 33	3	4,30	A
Eucalipto	80, 00	3	4,30	B

Con relación al método de Tukey, se debe identificar que tratamiento tiene mayor diferencia en las medias. Los resultados obtenidos y expuestos en la Tabla 20, indican que el eucalipto tiene la mayor media correspondiente al porcentaje de germinación con un valor de 80 seguido de la acacia y urapán con valores de 53,33 y 46,67 respectivamente. Además, existe un error estándar de 4,30% para cada una de las muestras y grado de libertad igual a 8. En el caso de la clase de las muestras, están representadas con las letras A y B. La interpretación de esta columna indica que; si las muestras comparten la misma letra, sus medias son bastante similares cuantitativamente, y las que no comparten letra son significativamente diferentes. La clase A es compartida por las muestras urapán y acacia, la clase B está conformada por eucalipto, esto evidencia una cierta proximidad en las medias de las muestras de la clase A y una diferencia significativa con la clase B.

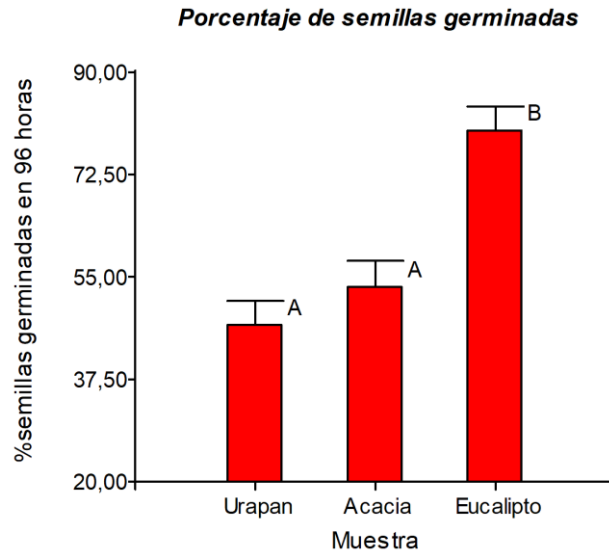


Figura 40: Porcentaje de semillas germinadas a las 96 horas

En la Figura 40, se pueden visualizar los porcentajes de semillas germinadas en 96 horas para cada una de las muestras (urapán, acacia y eucalipto), además de sus clases y error estándar. Como se mencionó anteriormente, la muestra del eucalipto tiene el mayor porcentaje de germinación con un valor de 80% seguido de la acacia con un valor de 53,33%, el urapán con 46,67%. El extremo superior de la caja representa las clases de las muestras y el error estándar correspondiente a 4,30%.

(Olmo, 2016) en su estudio *“Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal”* obtuvo después de 5 días de la germinación una mayor heterogeneidad comparado con los de los días posteriores, también señala que es importante una evaluación comparativa, ya que indica la diferente velocidad de germinación, y por tanto, marca en los inicios de cultivo un crecimiento diferenciado.

Numero de evaluación: 6

Fecha: 20 de Diciembre de 2018

Datos registrados: Crecimiento de semillas sobre los 2 cm

Tabla 21: Resultados de los datos observados de semillas sobre los 2cm

% de semillas germinadas			
	R1	R2	R3
Urapán	40	30	30
Acacia	50	40	40
Eucalipto	50	50	60

Resolución de la hipótesis:

A partir de las hipótesis planteadas con un nivel de significancia de 0,05, se obtuvieron mediante software las variables para el análisis respectivo, teniendo como resultados un «valor de prueba F» de 9,00 y el «valor P» de <0,0156; partiendo de que el «valor P» es menor al nivel de significancia (0,05), estos valores sugieren rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, la cual establece que las medias del porcentaje de germinación para las muestras (urapán, acacia y eucalipto) mostradas en la tabla 22 no son iguales, con una confianza del 95 %.

Tabla 22: Análisis estadístico del crecimiento de las semillas sobre los 2 cm

Tratamiento	Medias	n	E.E	Clase
Urapán	33, 33	3	3, 33	A
Acacia	43, 33	3	3, 33	A B
Eucalipto	53, 33	3	3, 33	B

Con relación al método de Tukey, se debe identificar que tratamiento tiene mayor diferencia en las medias. Los resultados obtenidos y expuestos en la Tabla 22, indican que el eucalipto tiene la mayor media correspondiente al porcentaje de germinación con un valor de 53,33 seguido de la acacia y urapán con valores de 43,33 y 33,33 respectivamente. Además, existe un error estándar de 3,33% para cada una de las muestras y grado de libertad igual a 8. En el caso de la clase de las muestras, están representadas con las letras A y B. La interpretación de esta columna indica que; si las muestras comparten la misma letra, sus medias son bastante similares cuantitativamente, y las que no comparten letra son significativamente diferentes. La clase B es compartida por las muestras acacia y eucalipto, esto evidencia una cierta proximidad en las medias de estas muestras.

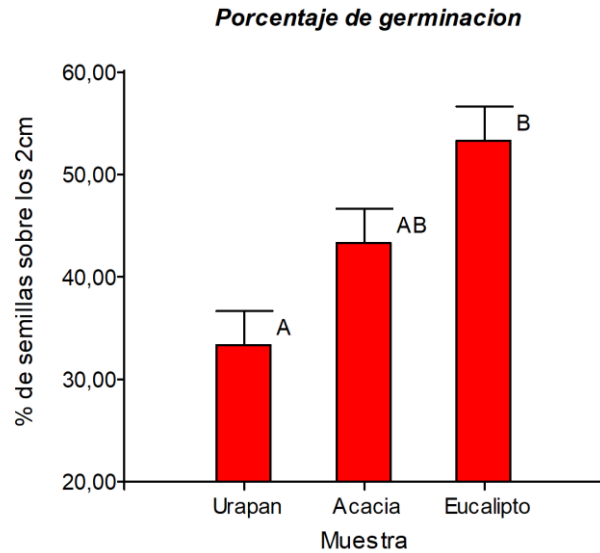


Figura 41: Porcentaje de germinación de semillas sobre los 2 cm

En la Figura 41, se pueden visualizar los porcentajes de semillas germinadas sobre los 2 cm para cada una de las muestras (urapán, acacia y eucalipto), además de sus clases y error estándar. Como se mencionó anteriormente, la muestra del eucalipto tiene el mayor porcentaje de germinación con un valor de 53,33% seguido de la acacia con un valor de 43,33%, el urapán con 33,33%. El extremo superior de la caja representa las clases de las muestras y el error estándar correspondiente a 3,33%.

Numero de evaluación: 7

Fecha: 22 de Diciembre de 2018

Datos registrados: Crecimiento de semillas sobre los 5 cm

Tabla 23: Resultados de los datos observados de semillas sobre los 5 cm

% de semillas germinadas			
	R1	R2	R3
Urapán	40	30	30
Acacia	40	40	40
Eucalipto	50	70	70

Resolución de la hipótesis:

A partir de las hipótesis planteadas con un nivel de significancia de 0,05, se obtuvieron mediante software las variables para el análisis respectivo, teniendo como resultados un «valor de prueba F» de 4,63 y el «valor P» de <0,0609; partiendo de que el «valor P» es menor al nivel de significancia (0,05), estos valores sugieren rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, la cual establece que las medias del porcentaje de germinación para las muestras (urapán, acacia y eucalipto) mostradas en la tabla 24 no son iguales, con una confianza del 95 %.

Tabla 24: Análisis estadístico sobre el crecimiento de las semillas sobre los 5 cm

Tratamiento	Medias	n	E.E	Clase
Urapán	36, 67	3	5,44	A
Acacia	46, 67	3	5,44	A
Eucalipto	60, 00	3	5,44	A

Con relación al método de Tukey, se debe identificar que tratamiento tiene mayor diferencia en las medias. Los resultados obtenidos y expuestos en la Tabla 24, indican que el eucalipto tiene la mayor media correspondiente al porcentaje de germinación con un valor de 60 seguido de la acacia y urapán con valores de 46,67 y 36,67 respectivamente. Además, existe un error estándar de 5,44% para cada una de las muestras y grado de libertad igual a 8. En el caso de la clase de las muestras, están representadas con la letra A. La interpretación de esta columna indica que; si las muestras comparten la misma letra, sus medias son bastante similares cuantitativamente, y las que no comparten letra son significativamente diferentes. La clase A es compartida por las muestras acacia y eucalipto, esto evidencia una cierta proximidad en las medias de estas muestras.

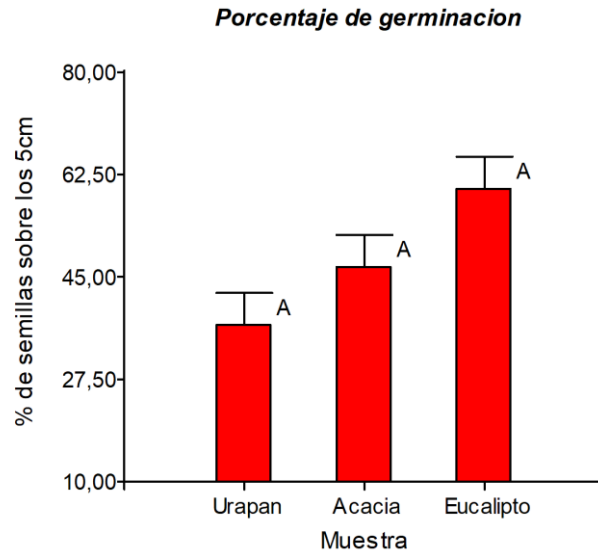


Figura 42: Porcentaje de semillas sobre los 5 cm

En la Figura 42, se pueden visualizar los porcentajes de semillas germinadas sobre los 5 cm para cada una de las muestras (urapán, acacia y eucalipto), además de sus clases y error estándar. Como se mencionó anteriormente, la muestra del eucalipto tiene el mayor porcentaje de germinación con un valor de 60% seguido de la acacia con un valor de 46,67%, el urapán con 36,67%. El extremo superior de la caja representa las clases de las muestras y el error estándar correspondiente a 5,44%.

Numero de evaluación: 8

Fecha: 25 de Diciembre de 2018

Datos registrados: Crecimiento de semillas sobre los 10cm

Tabla 25: Resultados de los datos observados de semillas sobre los 10 cm

% de semillas germinadas			
	R1	R2	R3
Urapán	50	50	40
Acacia	60	50	60
Eucalipto	70	70	80

Resolución de la hipótesis:

A partir de las hipótesis planteadas con un nivel de significancia de 0,05, se obtuvieron mediante software las variables para el análisis respectivo, teniendo como resultados un «valor de prueba F» de 16,33 y el «valor P» de <0,0037; partiendo de que el «valor P» es menor al nivel de significancia (0,05), estos valores sugieren rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, la cual establece que las medias del porcentaje de germinación para las muestras (urapán, acacia y eucalipto) mostradas en la tabla 26 no son iguales, con una confianza del 95 %.

Tabla 26: Análisis estadístico de las semillas sobre los 10 cm

Tratamiento	Medias	n	E.E	Clase
Urapán	46, 67	3	3,33	A
Acacia	56, 67	3	3,33	A
Eucalipto	73, 33	3	3,33	B

Con relación al método de Tukey, se debe identificar que tratamiento tiene mayor diferencia en las medias. Los resultados obtenidos y expuestos en la Tabla 26, indican que el eucalipto tiene la mayor media correspondiente al porcentaje de germinación con un valor de 73,33 seguido de la acacia y urapán con valores de 56,67 y 46,67 respectivamente. Además, existe un error estándar de 3,33% para cada una de las muestras y grado de libertad igual a 8. En el caso de la clase de las muestras, están representadas con las letras A y B. La interpretación de esta columna indica que; si las muestras comparten la misma letra, sus medias son bastante similares cuantitativamente, y las que no comparten letra son significativamente diferentes. En este caso, existe una diferencia significativa entre las muestras urapán-acacia y eucalipto. La clase A es compartida por las muestras urapán y acacia, la clase B se encuentra únicamente el eucalipto, esto evidencia una cierta diferencia en las medias de estas muestras.

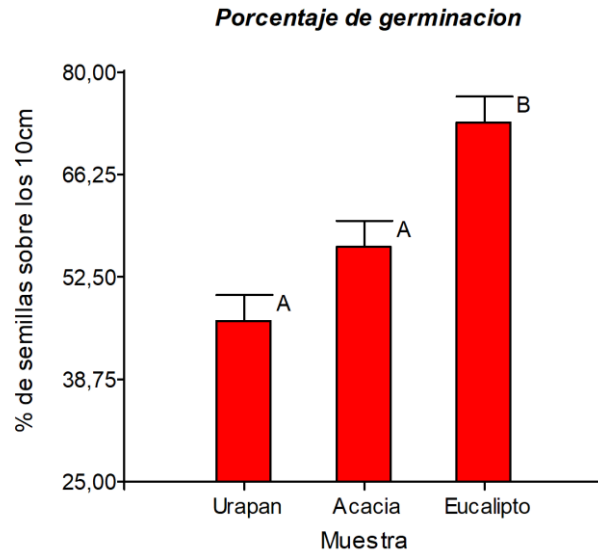


Figura 43: Porcentaje de semillas germinadas sobre los 10 cm

En la Figura 43, se pueden visualizar los porcentajes de semillas germinadas sobre los 10 cm para cada una de las muestras (urapán, acacia y eucalipto), además de sus clases y error estándar. Como se mencionó anteriormente, la muestra del eucalipto tiene el mayor porcentaje de germinación con un valor de 73,33% seguido de la acacia con un valor de 56,67%, el urapán con 46,67%. El extremo superior de la caja representa las clases de las muestras y el error estándar correspondiente a 3,33%.

Numero de evaluación: 9

Fecha: 27 de Diciembre de 2018

Datos registrados: Crecimiento de semillas sobre los 15 cm

Tabla 27: Resultados de los datos observados de semillas sobre los 15 cm

% de semillas germinadas			
	R1	R2	R3
Urapán	50	50	50
Acacia	70	50	60
Eucalipto	80	70	80

Resolución de la hipótesis:

A partir de las hipótesis planteadas con un nivel de significancia de 0,05, se obtuvieron mediante software las variables para el análisis respectivo, teniendo como resultados un «valor de prueba F» de 12,25 y el «valor P» de <0,0076; partiendo de que el «valor P» es menor al nivel de significancia (0,05), estos valores sugieren rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, la cual establece que las medias del porcentaje de germinación para las muestras (urapán, acacia y eucalipto) mostradas en la tabla 28 no son iguales, con una confianza del 95 %.

Tabla 28: Análisis estadístico de las semillas germinadas sobre los 15 cm

Tratamiento	Medias	n	E.E	Clase
Urapán	50	3	3,85	A
Acacia	60	3	3,85	A B
Eucalipto	76,67	3	3,85	B

Con relación al método de Tukey, se debe identificar que tratamiento tiene mayor diferencia en las medias. Los resultados obtenidos y expuestos en la Tabla 28, indican que el eucalipto tiene la mayor media correspondiente al porcentaje de germinación con un valor de 76,67 seguido de la acacia y urapán con valores de 60 y 50 respectivamente. Además, existe un error estándar de 3.85% para cada una de las muestras y grado de libertad igual a 8. En el caso de la clase de las muestras, están representadas con las letras A y B. La interpretación de esta columna indica que; si las muestras comparten la misma letra, sus medias son bastante similares cuantitativamente, y las que no comparten letra son significativamente diferentes. La clase A y B están compartidas por las muestras urapán, acacia y eucalipto.

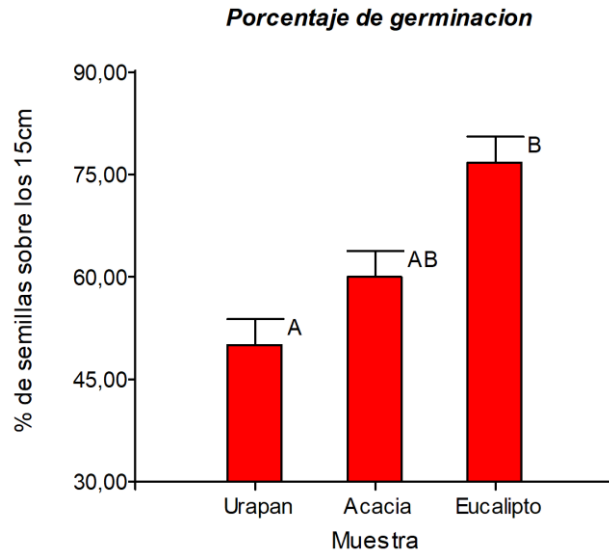


Figura 44: Porcentaje de semillas sobre los 15 cm

En la Figura 44, se pueden visualizar los porcentajes de semillas germinadas sobre los 15 cm para cada una de las muestras (urapán, acacia y eucalipto), además de sus clases y error estándar. Como se mencionó anteriormente, la muestra del eucalipto tiene el mayor porcentaje de germinación con un valor de 76,67% seguido de la acacia con un valor de 60%, el urapán con 50%. El extremo superior de la caja representa las clases de las muestras y el error estándar correspondiente a 3,85%.

Numero de evaluación: 10

Fecha: 29 de Diciembre de 2018

Datos registrados: Crecimiento de semillas sobre los 20 cm

Tabla 29: Resultados de los datos observados de semillas sobre los 20 cm

% de semillas germinadas			
	R1	R2	R3
Urapán	50	50	50
Acacia	50	50	60
Eucalipto	80	80	90

Resolución de la hipótesis:

A partir de las hipótesis planteadas con un nivel de significancia de 0,05, se obtuvieron mediante software las variables para el análisis respectivo, teniendo como resultados un «valor de prueba F» de 19,75 y el «valor P» de <0,0023; partiendo de que el «valor P» es menor al nivel de significancia (0,05), estos valores sugieren rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, la cual establece que las medias del porcentaje de germinación para las muestras (urapán, acacia y eucalipto) mostradas en la tabla 30 no son iguales, con una confianza del 95 %.

Tabla 30: Análisis estadístico de las semillas sobre los 20 cm

Tratamiento	Medias	n	E.E	Clase
Urapán	50	3	3,85	A
Acacia	60	3	3,85	A
Eucalipto	83,33	3	3,85	B

Con relación al método de Tukey, se debe identificar que tratamiento tiene mayor diferencia en las medias. Los resultados obtenidos y expuestos en la Tabla 30, indican que el eucalipto tiene la mayor media correspondiente al porcentaje de germinación con un valor de 83,33 seguido de la acacia y urapán con valores de 60 y 50 respectivamente. Además, existe un error estándar de 3,85% para cada una de las muestras y grado de libertad igual a 8. En el caso de la clase de las muestras, están representadas con las letras A y B. La interpretación de esta columna indica que; si las muestras comparten la misma letra, sus medias son bastante similares cuantitativamente, y las que no comparten letra son significativamente diferentes. En este caso, existe una diferencia significativa entre las clases A y B. La clase B es únicamente para el eucalipto, esto evidencia una gran diferencia en las medias de estas muestras.

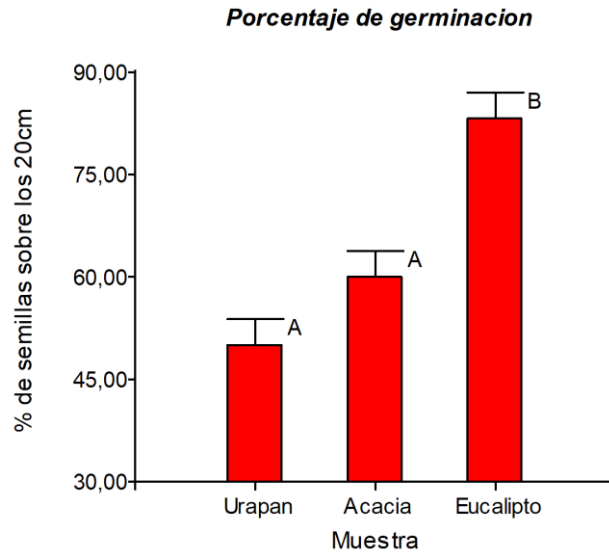


Figura 45: Porcentaje de semillas germinadas sobre los 20 cm

En la Figura 45, se pueden visualizar los porcentajes de semillas germinadas sobre los 20 cm para cada una de las muestras (urapán, acacia y eucalipto), además de sus clases y error estándar. Como se mencionó anteriormente, la muestra del eucalipto tiene el mayor porcentaje de germinación con un valor de 83,33% seguido de la acacia con un valor de 60%, el urapán con 50%. El extremo superior de la caja representa las clases de las muestras y el error estándar correspondiente a 3,85%.

Si bien en la mayoría de los tratamientos se puede observar un aumento del porcentaje de germinación a lo largo del periodo evaluado. También se observa una reducción de la desviación estándar, lo cual indica que la germinación de las muestras de urapán y acacia alcanzaron un valor final estable.

(Abenza, 2012) en su obtención de biochar a partir de podas forestales de pino, realizando pruebas de germinación en cebada, observo una germinación final similar en todos los tratamientos, de aproximadamente un 90%.

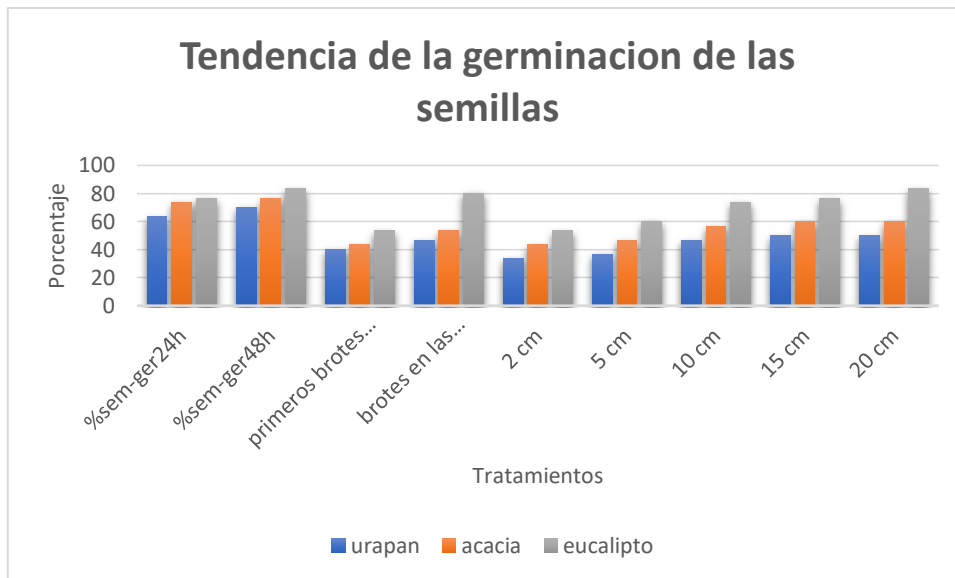


Figura 46: Tendencia de la germinación de las semillas

Además, la semilla de arveja tratada con biochar presento un estado hídrico más elevado. Estos resultados se puede comparar con el aporte de biochar de poda de olivo (Rosas, 2015), que promovió generalmente el crecimiento de ocho especies, lo que indica su idoneidad como enmienda para aumentar la producción de un amplio rango de especies. Estos resultados concuerdan con los aumentos en la producción obtenidos en otros estudios (Zwieten et al., 2010). Estos estudios en campo también confirmaron estos resultados ya que el biochar de poda de olivo aumentó la tasa de crecimiento relativo del trigo, lo que pudo estimular su producción (Labrafia & Araus, 1991).

En cuanto a los estudios relacionados con la aplicación de biochar y la germinación de semillas, se ha encontrado que la aplicación de este aumenta la calidad y rendimiento de los mismos, según lo encontrado por (Major & Preta, 2006) en un cultivo de maíz en Colombia. En dicho estudio la aplicación de biochar aumentó la calidad y el rendimiento en un 140 % después de 4 años de la adición del mismo, en comparación con suelos y germinaciones tratados con otros tipos de fertilización orgánica. Algo similar se encontró en un estudio con plantas de frijol realizado por (Major, Rondon, & Molina, 2010) donde hubo un aumento del 50% del rendimiento del cultivo a partir de los dos años de la aplicación del biochar; igualmente se han reportado estudios en cultivos de arroz en un rango de tiempo de dos años del tratamiento con biochar (Asai et al., 2009).

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES

- Se diseñó un horno pirolítico de doble cilindro con fines de análisis e investigación para la producción de biochar de los tres tipos de biomasa seleccionados, además de las dimensiones y fabricación del horno, los estados de humedad y el tamaño de homogéneo de las ramas de las podas forestales.
- Se caracterizaron los biochars producidos de tres tipos de biomasa diferentes de la zona urbana de la ciudad de Cuenca, pirolizadas por el mismo proceso, en el mismo horno pirolítico artesanal y para el mismo rango de temperatura y en un tiempo de residencia de 1.5 a 2 horas para obtener un conjunto de datos analíticos para su evaluación.
- De acuerdo a las características y propiedades físicas y químicas observadas, el pH de la solución de biochar y la conductividad eléctrica están dentro de un rango de mediana a baja, el biochar sí podría resultar importante como un potencializador en la germinación de semillas de arveja. Las concentraciones de los nutrientes gradualmente resultaron lo suficientemente apropiadas para promover su uso directo desde el punto de vista de enmienda de nutrientes. Se podrían encontrar incrementos en la absorción de P, K, Ca, Zn y Cu en plantas y cultivos en los cuales se había aplicado biochar.
- De lo expuesto anteriormente, los biochars características que pueden mejorar la germinación de semillas de arveja, ningún biochar tiene un comportamiento igual y algunos serán más apropiados para ciertos escenarios. Para el caso de la ciudad de Cuenca, el biochar de eucalipto se presenta como el más idóneo para su aplicación en la germinación de semillas, esto hace referencia a sus características anteriormente evaluadas y observadas, el biochar de esta especie forestal resultó ser el mal alto potenciador con relación a la germinación.

CAPÍTULO VI

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda la producción de biochar el aprovechamiento de residuos de podas forestales de todas las zonas urbanas de la ciudad de Cuenca, que suelen ser dejados a las orillas de los ríos, se sugiere que estos residuos deben ser almacenados de manera correcta sin dejar de prestar atención al contenido de humedad. También se recomienda aprovechar estos residuos forestales apenas caigan al suelo puesto que cumplen con un ciclo de aporte lento de nutrientes al suelo una vez terminado el ciclo (cultivo) o mayormente son derivados o arrancados.

La producción de biochar a partir de biomasa forestal de eucalipto, acacia y urapán es viable, factible y presenta una alternativa para eliminar los potenciadores de germinación químicos o industriales, que a la larga afectan al suelo por su composición.

Como alternativa o propuesta sería necesario la elaboración de un tipo de reactor que controle las tasas de calentamiento, temperatura y tiempo de la producción de biochar. Una mejor tecnología de producción aumenta el rendimiento y evita un uso innecesario de biomasa combustible y por ende de emisiones significativas de CO².

Se podría establecer y manejar procedimientos estandarizados para el análisis de las características básicas del biochar, puesto que se plantean diferentes metodologías ajustadas para cada investigación y los resultados varían según la biomasa utilizada. Se deberán realizar nuevos trabajos de investigación que incluyan pruebas con biochar en otras semillas que se comercializan en la ciudad y además combinar tratamientos con biochar y niveles menores de fertilización.

Se ha sugerido que el objetivo de aplicación de biochar en germinación de semillas y suelos de cultivos sería tanto para aumentar la producción, frente a eventos climáticos como por ejemplo sequías o mucha radiación solar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abenza, D. (2012). *Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta*. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Agro Waste. (2013). Pirolisis. In *Pirolisis* (CISC, pp. 1–4). España.
- Alburquerque, J., Calero, J., Barron, V., Torrent, J., Del Campillo, M., Gallardo, A., & Villar, R. (2013). El biocarbón como una herramienta para limitar las emisiones de CO₂ y mejorar las propiedades del suelo en el ámbito Mediterráneo. *Congreso Forestal Español*, 6, 1–10.
- Amonette, J. (2009). An Introduction to Biochar: Concept, Processes, Properties, and Applications. *Pacific Northwest National Laboratory*, (January). <https://doi.org/PNNL-SA-64398>
- Asai, H., Samson, B. K., Stephan, H. M., Songyikhangsuthor, K., Homma, K., Kiyono, Y., ... Horie, T. (2009). Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Elsevier*, 111, 81–84. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.10.008>
- Canales, I. (2017). *Valorización de biocarbones obtenidos mediante pirólisis de residuos orgánicos*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA.
- Carranza, S. (2007). Revisión bibliográfica sobre *Acacia melanoxylon* : su silvicultura y su madera. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 106(2), 145–154. Retrieved from http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/15693/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Checa Coral, Ó. E., & Bastidas Acosta, J. E. (2017). Evaluación agronómica y económica de arveja Arbustiva (*Pisum sativum* L.) En diferentes épocas De siembra y sistemas de tutorado. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 20(2), 279–288. Retrieved from <https://udca.edu.co/wp-content/uploads/2018/01/revista-udca-actualidad-divulgacion-cientifica-2017-2.pdf#page=45>
- Cordero, P., Vanegas, S., & Hermida, M. A. (2015). La biodiversidad urbana como síntoma de una ciudad sostenible. Estudio de la zona del Yanuncay en Cuenca, Ecuador. *Maskana*, 6(1). Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22287/1/MASKANA6109.pdf>
- Dauber, E., Terán, J., & Guzmán, R. (1992). Estimaciones de biomasa y carbono en bosques naturales de Bolivia. *Revista Forestal Iberoamericana*, 1(1), 1–10. Retrieved from <http://www.forest.ula.ve/rforibam/archivos/DOC2.pdf>
- Delvasto, P. (2017). Caracterización fisicoquímica y morfológica de dos muestras de biocarbón producidas mediante pirólisis de residuos de poda y jardinería., (December).
- Demirbas, A. (2009). Biofuels from Agricultural Biomass, 1573–1582. <https://doi.org/10.1080/15567030802094011>
- Dominguez, G. Aguirre, O. Jiménez, J. Dáz, J. (2009). BIOMASA AÉREA Y FACTORES DE EXPANSIÓN DE ESPECIES ARBÓREAS EN BOSQUES DEL SUR DE NUEVO LEÓN, 15(1), 59–64.


- Enciclopedia del Ecuador. (2016). Enciclopedia del Ecuador. Retrieved from <http://www.encyclopediadelecuador.com/geografia-del-ecuador/cuenca/>
- EMAC. (2014). Empresa Municipal de Aseo de Cuenca. Retrieved from <http://www.emac.gob.ec/>
- Escalante, A., Pérez, G., Hidalgo, C., López, J., Campos, J., Valtierra, E., & Etchevers, J. (2016). Biocarbón (biochar) I : Naturaleza , historia , fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34, 367–382.
- Gilces, M. (2014). *Efectos de la aplicación de biochar y cenizas en las propiedades del suelo*. Universidad de Valladolid.
- Guerra, P. (2014). *Producción y caracterización de Biochar a partir de la biomasa residual de sistemas agroforestales y de agricultura convencional en la Amazonía Peruana. Tesis de Grado. Lima-Peru. Universidad Nacional Agraria La Molina.*
- Herrera, J. (2018). *PIRÓLISIS DE BIOMASA PARA LA OBTENCIÓN DE BIOCARBÓN Y SU EFECTO EN EL RENDIMIENTO DE TOMATE*. UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR.
- Iglesias, S. Alegre, J. Salas, C. E. J. (2018). El rendimiento del maíz (*Zea mays* L .) mejora con el uso del biochar de eucalipto. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 25–32. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.03>
- Iglesias, S. (2018). *Aplicacion de biochar a partir de la biomasa residual de eucalipto para evaluar la productividad con maíz en el austro ecuatoriano. Tesis Doctoral. UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA.*
- Ilguan Caizaguano, M. J., & Carrasco, J. (2016). Estudio de radiosensibilidad en la germinación y crecimiento de la arveja *Pisum Sativum* L, con semillas expuestas a radiación gamma utilizando un irradiador de Co-60. *Facultad de Ciencias, Bachelor*, 77. Retrieved from <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/5651>
- Infante-Betancour, J., Jara-Muñoz, A., & Rivera-Díaz, O. (2008). *Árboles y Arbustos más frecuentes de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.*
- Labrafia, X., & Araus, J. L. (1991). Effect of foliar applications of silver nitrate and ear removal on carbon dioxide assimilation in wheat flag leaves during grain-filling, 28, 149–162.
- Laird, D., Fleming, P., Wang, B., Horton, R., & Karlen, D. (2010). Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, 158(3–4), 436–442. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.05.012>
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2009). *Biochar for environmental management : An introduction. Biochar for Environmental Management - Science and Technology* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2009.07.001>
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., & Crowley, D. (2011). Soil Biology & Biochemistry Biochar effects on soil biota e A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(9), 1812–1836. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022>
- Mahmood, W. M. F. W., Ariffin, M. A., Harun, Z., & Ghani, J. A. (2015). CHARACTERISATION AND POTENTIAL USE OF BIOCHAR FROM GASIFIED OIL PALM WASTES, 45–54.

- Major, J., & Preta, M. T. (2006). El Biocarbón : Una herramienta para el manejo sostenible de suelos y la producción de energía, 20–24. Retrieved from http://www.tecnicana.org/pdf/2006/tec_v10_no18_2006_p20-24.pdf
- Major, J., Rondon, M., & Molina, D. (2010). Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Springer*, (August), 117–128. <https://doi.org/10.1007/s11104-010-0327-0>
- Méndez, A. (2017). *Cambio en las propiedades químicas de un biochar de sarmientos de vid por adición a pilas de compostaje*. UNIVERSIDAD DE VALLADOLID.
- Méndez, A., Gascó, G., Freitas, M. M. A., Siebielec, G., Stuczynski, T., & Figueiredo, J. L. (2005). Preparation of carbon-based adsorbents from pyrolysis and air activation of sewage sludges. *Chemical Engineering Journal*, 108(1–2), 169–177. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2005.01.015>
- Moreno, J. C., López, G., & Siche, R. (2010). Modeling and optimization of extraction process of eucalyptus essential oil (*Eucalyptus globulus*). *Scientia Agropecuaria*, 1, 147–154.
- Municipalidad de Cuenca. (2011). M. de Cuenca. Retrieved from <http://www.cuenca.gov.ec/>
- Nates, E. (2014). *Evaluación Del Efecto De Biochar En El Suelo Y La Calidad De Los Frutos En Un Cultivo De Uchuva*. Retrieved from <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/17900/NatesOcampoEvelynMaria2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ochoa, D. M., Navas, A. V., Ulloa, C. U., Ansaloni, R., Ventosa, I., C, K. P., & Bosco, E. D. (2016). *ÁRBOLES Y ARBUSTOS DE LOS RÍOS DE CUENCA AZUAY*. (I. V. Carmen Ulloa Ulloa, Raffaella Ansaloni, Ed.) (first edit). Cuenca.
- Olmo, M. Villar, R. Salazar, P. (2015). Changes in soil nutrient availability explain biochars impact on wheat root development. *Springer International Publishing Switzerland 2015*, 1. Retrieved from <https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/13381/2016000001398.pdf?sequence=1>
- Olmo, M. (2016). *Efectos del biochar sobre el suelo , las características de la raíz y la producción vegetal Directores*. Universidad de Cordova.
- Padilla, I. Asanza, M. (2001). *Árboles y arbustos de Quito*. (2001 Herbario Nacional del Ecuador, Ed.) (First edit). Quito: 2001. Retrieved from https://books.google.com.ec/books/about/Árboles_y_arbustos_de_Quito.html?id=D6dYAAAACAAJ&hl=es-419&output=html_text
- Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., ... Ngara, T. (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. (C. I. for G. E. Strategies, Ed.) (IPCC Natio). Japan.
- Pérez, R. Tapia, A. Soto, G. Benjamin, T. (2013). Efecto del Bio-carbón sobre *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense y el desarrollo de plantas de banano (*Musa*)". *ScieELO*, 27(2215–2458), 112.
- Rosas, J. (2015). *PRODUCCIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DE VIÑAS AGOTADAS MEDIANTE PIRÓLISIS EN REACTOR A ESCALA PILOTO Y EN REACTOR MÓVIL ENERGÉTICAMENTE SOSTENIBLE*. Universidad de León.

- Schahczenski, J. (2010). Biochar and Sustainable. *ATTRA - National Sustainable Agriculture Information Service*, 1–12. Retrieved from <http://syekhfanismsd.lecture.ub.ac.id/files/2013/12/biochar.pdf>
- Sohi, S. P., Krull, E., & Bol, R. (2010). A Review of Biochar and Its Use and Function in Soil, *105*(10), 47–82. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)05002-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)05002-9)
- Suarez, L., Ardila, A., & Barrera, R. (2017). Caracterización morfológica y fisico-química de biocarbones producidos por la gasificación de especies forestales seleccionadas. *Revista Facultad de Ingeniería*, *26*(46), 123–130.
- Urien, A. (2013). *Obtención de biocarbones y biocombustibles mediante pirólisis de biomasa residual. Tesis De Máster*. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Retrieved from http://digital.csic.es/bitstream/10261/80225/1/BIOCARBONES_CENIM_CSIC.pdf
- Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, a C., Van Der Velde, M., & Diafas, I. (2010). *Biochar application to soils: a critical review of effects on soil properties, processes and functions. JRC Scientific and technical Report*. <https://doi.org/10.2788/472>
- Vilora, H. Mendez, J. (2011). Relación entre la conductividad eléctrica, pH del agua de remojo, germinación de semillas y crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mayz* L.) bajo dos condiciones experimentales.
- Yadav, A., Ansari, K. B., Simha, P., Gaikar, V. G., & Pandit, A. B. (2016). Vacuum pyrolysed biochar for soil amendment. *Resource-Efficient Technologies*, *2*, S177–S185. <https://doi.org/10.1016/j.reffit.2016.11.004>
- Zwieten, L. Van, Kimber, S., & Morris, S. (2010). Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Springer*, (February). <https://doi.org/10.1007/s11104-009-0050-x>

ANEXOS

Anexo 1: Informe de resultados de ensayos de eucalipto

 IHTALAB <small>Laboratorio de Calidad de Agua</small>	INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS			
	CODIGO: F01-PG19			
INFORME No.	OA:18-010	Fecha de Emisión del Informe:	2018-12-18	Revisión 02
CLIENTE:	Sr. Diego Arévalo		RUC:	
DIRECCION:	Cuenca		TELEFONOS:	
TIPO DE MUESTRA:	Suelo		RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA	
PUNTO DE TOMA DE MUESTRA:	Muestra 1 <i>SEU</i>			
CADENA DE CUSTODIA (si aplica):	N/A		IHTALAB () CLIENTE (X) OTRO ()	
Fecha de Recolección de muestras:	2018-12-04	Hora recolección:	10:00:00	
Fecha de Recepción de muestras:	2018-12-04	Hora recepción:	17:00:00	
Fecha de Inicio de Ensayos:	2018-12-05	Fecha Fin de Ensayos:	2018-12-17	

RESULTADOS DE ANÁLISIS SUELOS

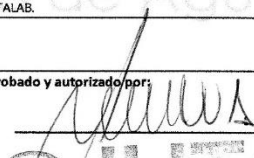

AA	Análisis	Método de Ensayo	MUESTRA		
			Unidades	Resultados 18-010-01	Límite de cuantificación
	Potencial de Hidrógeno	AAA-PE-S014 / EPA 9045 B	Unidades de pH	7,3	4 a 10 unidades pH
	Conductividad Eléctrica	PEE-LASA FQ-55 / SM 2510B	ms/cm	1,5	30 - 1500 uS/cm
	Nitrógeno	SM 4500 - N C	mg/kg (ppm)	24	<=1500 mg/kg
	Potasio	EPA 6020 B	mg/kg (ppm)	20	1 - 1000 mg/kg
	Calcio	EPA 6020 B	mg/kg (ppm)	70	5 - 500 mg/kg
	Magnesio	EPA 6020 B	mg/kg (ppm)	52,5	1 - 200 mg/kg
	Azufre	EPA 6020	mg/kg (ppm)	8,05	3,8 - 150 mg/kg
	Fósforo	SM 4500 P B-C	mg/kg (ppm)	18	<=450 mg/kg

NOTAS:

AA (Acreditaciones)	
2: Los resultados fueron suministrados por el Laboratorio ANAVANLAB, acreditado por el SAE, con Certificado de Acreditación No. OAE LEC 13-006	
3: Ensayos subcontratados. IHTALAB asume la responsabilidad por los ensayos subcontratados. En el apartado observaciones se indica el laboratorio subcontratado	
Los resultados incluidos en el presente Informe están relacionados únicamente a las muestras analizadas.	Prohibida su reproducción parcial, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de IHTALAB.

Observaciones:

Informe aprobado y autorizado por:

Azogues, martes 18 de diciembre de 2018



Dirección: Sucre 9-02 y Camilo Ponce
 Azogues - Ecuador
 Tel: (07) 2244-988 Cel: 0998364296
 Mail: ihta.azogues@gmail.com

Anexo 2: Informe de resultados de ensayos de acacia

 IHTALAB <small>Laboratorio de Calidad de Agua</small>	INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS				
	CODIGO: F01-PG19				
INFORME No.	OA:18-011	Fecha de Emisión del Informe:	2018-12-17	Revisión 02	
CLIENTE:	Sr. Diego Arévalo		RUC:		
DIRECCION:	Cuenca		TELEFONOS:		
TIPO DE MUESTRA:	Suelo		RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA		
PUNTO DE TOMA DE MUESTRA:	Muestra 2 <i>Acacia</i>				
CADENA DE CUSTODIA (si aplica):	N/A		IHTALAB ()	CLIENTE (X)	OTRO ()
Fecha de Recolección de muestras:	2018-12-04	Hora recolección:	10:00:00	Cuando IHTALAB es responsable de la Toma de Muestra, se garantiza la trazabilidad de la muestra en base a la cadena de custodia y la información ahí contenida	
Fecha de Recepción de muestras:	2018-12-04	Hora recepción:	17:00:00		
Fecha de Inicio de Ensayos:	2018-12-05	Fecha Fin de Ensayos:	2018-12-17		

RESULTADOS DE ANÁLISIS SUELOS

AA	Análisis	Método de Ensayo	MUESTRA		
			Unidades	Resultados 18-011-01	Límite de cuantificación
	Potencial de Hidrógeno	AAA-PE-S014 / EPA 9045 B	Unidades de pH	7,3	4 a 10 unidades pH
	Conductividad Eléctrica	PEE-LASA FQ-55 / SM 2510B	ms/cm	1,35	30 - 1500 uS/cm
	Nitrógeno	SM 4500 - N C	mg/kg (ppm)	27	<=1500 mg/kg
	Potasio	EPA 6020 B	mg/kg (ppm)	21	1 - 1000 mg/kg
	Calcio	EPA 6020 B	mg/kg (ppm)	52	5 - 500 mg/kg
	Magnesio	EPA 6020 B	mg/kg (ppm)	51,02	1 - 200 mg/kg
	Azufre	EPA 6020	mg/kg (ppm)	7,05	3,8 - 150 mg/kg
	Fósforo	SM 4500 P B-C	mg/kg (ppm)	17,2	<=450 mg/kg

NOTAS:

AA (Acreditaciones)	
2: Los resultados fueron suministrados por el Laboratorio ANAVANLAB., acreditado por el SAE, con Certificado de Acreditación No. OAE LEC 13-006	
3: Ensayos subcontratados. IHTALAB asume la responsabilidad por los ensayos subcontratados. En el apartado observaciones se indica el laboratorio subcontratado	
Los resultados incluidos en el presente Informe están relacionados únicamente a las muestras analizadas.	Prohibida su reproducción parcial, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de IHTALAB.

Observaciones:

Informe aprobado y autorizado por:



IHTA
Ingeniería Ambiental - Tratamiento de Agua


Azogues, martes 18 de diciembre de 2018

 **IHTALAB**

Dirección: Sucre 9-02 y Camilo Ponce
 Azogues - Ecuador
 Tel: (07) 2244-988 Cel: 0998364296
 Mail: ihta.azogues@gmail.com

Pág. 1 de 1

Anexo 3: Informe de resultados de ensayos de urapán

 IHTALAB <small>Laboratorio de Calidad de Agua</small>	INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS			
	CODIGO: F01-PG19			
INFORME No.	OA:18-012	Fecha de Emisión del Informe:	2018-12-17	Revisión 02
CLIENTE:	Sr. Diego Arévalo		RUC:	
DIRECCION:	Cuenca		TELEFONOS:	
TIPO DE MUESTRA:	Suelo		RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA	
PUNTO DE TOMA DE MUESTRA:	Muestra 3 <i>Urapan</i>			
CADENA DE CUSTODIA (si aplica):	N/A		IHTALAB () CLIENTE (X) OTRO ()	
Fecha de Recolección de muestras:	2018-12-04	Hora recolección:	10:00:00	Cuando IHTALAB es responsable de la Toma de Muestra, se garantiza la trazabilidad de la muestra en base a la cadena de custodia y la información ahí contenida
Fecha de Recepción de muestras:	2018-12-04	Hora recepción:	17:00:00	
Fecha de Inicio de Ensayos:	2018-12-05	Fecha Fin de Ensayos:	2018-12-17	

RESULTADOS DE ANÁLISIS SUELOS

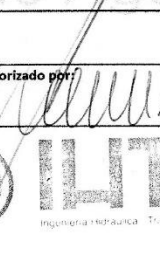

AA	Análisis	Método de Ensayo	MUESTRA		
			Unidades	Resultados 18-012-01	Límite de cuantificación
	Potencial de Hidrógeno	AAA-PE-S014 / EPA 9045 B	Unidades de pH	7,5	4 a 10 unidades pH
	Conductividad Eléctrica	PEE-LASA FQ-55 / SM 2510B	ms/cm	1,2	80 - 1500 uS/cm
	Nitrógeno	SM 4500 - N C	mg/kg (ppm)	32,3	<=1500 mg/kg
	Potasio	EPA 6020 B	mg/kg (ppm)	21,5	1 - 1000 mg/kg
	Calcio	EPA 6020 B	mg/kg (ppm)	57,3	5 - 500 mg/kg
	Magnesio	EPA 6020 B	mg/kg (ppm)	50,2	1 - 200 mg/kg
	Azufre	EPA 6020	mg/kg (ppm)	5,02	3,8 - 150 mg/kg
	Fósforo	SM 4500 P B-C	mg/kg (ppm)	14,3	<=450 mg/kg

NOTAS:

AA (Acreditaciones)	
2: Los resultados fueron suministrados por el Laboratorio ANAVANLAB., acreditado por el SAE, con Certificado de Acreditación No. OAE LEC 13-006	
3: Ensayos subcontratados. IHTALAB asume la responsabilidad por los ensayos subcontratados. En el apartado observaciones se indica el laboratorio subcontratado	
Los resultados incluidos en el presente Informe están relacionados únicamente a las muestras analizadas.	Prohibida su reproducción parcial, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de IHTALAB.

Observaciones:

Informe aprobado y autorizado por:

IHTA
Ingeniería Hidráulica - Tratamiento de Agua

Azogues, martes 18 de diciembre de 2018



Dirección: Sucre 9-02 y Camilo Ponce
 Azogues - Ecuador
 Tel: (07) 2244-988 Cel: 0998364296
 Mail: ihita.azogues@gmail.com

Pág. 1 de 1

Anexo 4: Resultados del modelo estadístico: análisis de la varianza de semillas germinadas en 24 horas

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%semillas germinadas en 24..	9	0,59	0,45	8,12

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	288,89	2	144,44	4,33	0,0685
Muestra	288,89	2	144,44	4,33	0,0685
Error	200,00	6	33,33		
Total	488,89	8			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=14,46398

Error: 33,3333 gl: 6

Muestra	Medias	n	E.E.
Urapan	63,33	3	3,33 A
Acacia	73,33	3	3,33 A
Eucalipto	76,67	3	3,33 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 5: Resultados del modelo estadístico: análisis de la varianza de semillas germinadas en 48 horas

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%semillas germinadas en 48..	9	0,67	0,56	6,15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	266,67	2	133,33	6,00	0,0370
Muestra	266,67	2	133,33	6,00	0,0370
Error	133,33	6	22,22		
Total	400,00	8			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=11,80979

Error: 22,2222 gl: 6

Muestra	Medias	n	E.E.
Urapan	70,00	3	2,72 A
Acacia	76,67	3	2,72 A B
Eucalipto	83,33	3	2,72 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 6: Resultados del modelo estadístico: análisis de la varianza de primeros brotes

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%primeros brotes	12	0,78	0,69	17,68

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1400,00	3	466,67	9,33	0,0054
Muestra	1400,00	3	466,67	9,33	0,0054
Error	400,00	8	50,00		
Total	1800,00	11			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=18,48879

Error: 50,0000 gl: 8

Muestra	Medias	n	E.E.		
Acacia	40,00	3	4,08	A	B
Urapán	43,33	3	4,08		B
Eucalipto	53,33	3	4,08		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 7: Resultados del modelo estadístico: análisis de la varianza de semillas germinadas en 96 horas

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
%semillas germinadas en 96..	9	0,85	0,80	12,42

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1866,67	2	933,33	16,80	0,0035
Muestra	1866,67	2	933,33	16,80	0,0035
Error	333,33	6	55,56		
Total	2200,00	8			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=18,67292

Error: 55,5556 gl: 6

Muestra	Medias	n	E.E.		
Urapan	46,67	3	4,30	A	
Acacia	53,33	3	4,30	A	
Eucalipto	80,00	3	4,30		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 8: Resultados del modelo estadístico: análisis de la varianza de semillas sobre los 2cm

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% de semillas sobre los 2c..	9	0,75	0,67	13,32

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	600,00	2	300,00	9,00	0,0156
Muestra	600,00	2	300,00	9,00	0,0156
Error	200,00	6	33,33		
Total	800,00	8			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=14,46398

Error: 33,3333 gl: 6

Muestra	Medias	n	E.E.		
Urapan	33,33	3	3,33	A	
Acacia	43,33	3	3,33	A	B
Eucalipto	53,33	3	3,33		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Anexo 9: Resultados del modelo estadístico: análisis de la varianza de semillas sobre los 5 cm

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% de semillas sobre los 5c..	9	0,61	0,48	19,73

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	822,22	2	411,11	4,63	0,0609
Muestra	822,22	2	411,11	4,63	0,0609
Error	533,33	6	88,89		
Total	1355,56	8			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=23,61959

Error: 88,8889 gl: 6

Muestra	Medias	n	E.E.		
Urapan	36,67	3	5,44	A	
Acacia	46,67	3	5,44	A	
Eucalipto	60,00	3	5,44	A	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Anexo 10: Resultados del modelo estadístico: análisis de la varianza de semillas sobre los 10cm

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% de semillas sobre los 10..	9	0,84	0,79	9,80

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1088,89	2	544,44	16,33	0,0037
Muestra	1088,89	2	544,44	16,33	0,0037
Error	200,00	6	33,33		
Total	1288,89	8			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=14,46398

Error: 33,3333 gl: 6

Muestra	Medias	n	E.E.	
Urapan	46,67	3	3,33	A
Acacia	56,67	3	3,33	A
Eucalipto	73,33	3	3,33	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 11: Resultados del modelo estadístico: análisis de la varianza de semillas sobre los 15cm

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% de semillas sobre los 15..	9	0,80	0,74	10,71

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1088,89	2	544,44	12,25	0,0076
Muestra	1088,89	2	544,44	12,25	0,0076
Error	266,67	6	44,44		
Total	1355,56	8			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=16,70157

Error: 44,4444 gl: 6

Muestra	Medias	n	E.E.	
Urapan	50,00	3	3,85	A
Acacia	60,00	3	3,85	A
Eucalipto	76,67	3	3,85	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 12: Resultados del modelo estadístico: análisis de la varianza de semillas sobre los 20 cm

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
% de semillas sobre los 20..	9	0,87	0,82	10,34

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1755,56	2	877,78	19,75	0,0023
Muestra	1755,56	2	877,78	19,75	0,0023
Error	266,67	6	44,44		
Total	2022,22	8			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=16,70157

Error: 44,4444 gl: 6

Muestra	Medias	n	E.E.	
Urapan	50,00	3	3,85	A
Acacia	60,00	3	3,85	A
Eucalipto	83,33	3	3,85	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)



PERMISO DEL AUTOR DE TESIS PARA SUBIR AL REPOSITORIO
INSTITUCIONAL

Yo, **Diego Esteban Arévalo Rendón** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° 0105394241. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación "**Obtención de biochar a partir de la biomasa de podas forestales de la zona urbana de la ciudad de Cuenca**" de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 15 de Febrero de 2019


F:
Diego Esteban Arévalo Rendón
C.I. 0105394241