

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
		PAGINA: 1 de 7

16.

FECHA	Miércoles , 17 de Junio de 2020
--------------	---------------------------------

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
 BIBLIOTECA
 Ciudad

UNIDAD REGIONAL	Seccional Girardot
TIPO DE DOCUMENTO	Trabajo De Grado
FACULTAD	Ciencias Agropecuarias
NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO	Pregrado
PROGRAMA ACADÉMICO	Ingeniería Ambiental

El Autor(Es):

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN
Guevara Ibargüen	Luisa Fernanda	1.070.624.019

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
Sandoval Valencia	John Jairo
Cruz Cuéllar	Héctor Fabio

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 2 de 7

TÍTULO DEL DOCUMENTO

ANÁLISIS DEL POTENCIAL QUE PRESENTA LOS RESIDUOS DE PODA DEL ÁRBOL NEEM (*Azadirachta indica*) EN EL CASCO URBANO DE GIRARDOT (CUNDINAMARCA) PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOCHAR Y SU APLICACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS

SUBTÍTULO

(Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía

Ingeniera Ambiental

AÑO DE EDICIÓN DEL DOCUMENTO

24/05/2020

NÚMERO DE PÁGINAS

79

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)

ESPAÑOL	INGLÉS
1. Material lignocelulósico	Lignocellulosic material
2. Árbol de Neem (<i>Azadirachta indica</i>)	Neem tree
3. Biochar	biochar
4. Pirólisis	Pyrolysis
5. potencial	potential
6. Tratamiento de aguas	water treatment



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 3 de 7

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS

(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

En la actualidad el medio ambiente ha sido uno de los temas con más preocupación en todos los ámbitos en donde se tome en cuenta, por lo tanto, el material lignocelulósico ha sido una de las opciones para dar mejoría al tema ambiental en la industria. El árbol de Neem (*Azadirachta indica*), es conocido en el mundo como el árbol de los mil usos debido a sus múltiples beneficios que presenta en diversos campos como la industria, en la medicina y en la agricultura, en este último se usa un producto muy importante para ayudar a los suelos y a la recuperación de los mismos, se llama biochar, el biochar es un material sólido, rico en carbono, que se produce a partir de biomasa lignocelulósico en este caso del árbol de Neem (*Azadirachta indica*), de manera anaeróbica (sin oxígeno). Esta biomasa se quiere aprovechar a partir de la corta y poda que se realice en Girardot, Cundinamarca, debido a que, estos residuos orgánicos son desechados de manera incorrecta. Al realizar el análisis del potencial que presenta esta especie arbórea en la producción de biochar, se implementara en el tratamiento de aguas, algo importante, puesto que, en La región del alto magdalena, donde pertenece Girardot, cuenta con deficiencias en el tratamiento del recurso hídrico, creando preocupación en la salubridad de los habitantes y en el medio ambiente.

Currently, the environment has been one of the subjects with the most concern in all the obstacles where it is taken into account, therefore, lignocellulosic material has been one of the options to improve the environmental issue in the industry. The Neem tree (*Azadirachta indica*), is known in the world as the tree of a thousand uses due to its multiple benefits that they present in various fields such as industry, medicine and agriculture, in the latter a product is used It is very important to help soils and their recovery, it is called biochar, biochar is a solid material, rich in carbon, which is produced from lignocellulosic biomass, in this case from the Neem tree (*Azadirachta indica*), from anaerobic (without oxygen). This biomass is wanted to be used from the cut and pruning that is carried out in Girardot, Cundinamarca, because these organic residues are incorrectly disposed of. When carrying out the analysis of the potential that this tree species presents in the production of biochar, it is implemented in the treatment of waters, something important, since, in the region of Alto Magdalena, where Girardot belongs, it has deficiencies in the treatment of the resource water, creating concern for the health of the inhabitants and the environment.



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 4 de 7

AUTORIZACION DE PUBLICACIÓN

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son:

Marque con una "X":

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	<input type="checkbox"/>	X
2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.	<input type="checkbox"/>	X
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	<input type="checkbox"/>	X
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.	<input type="checkbox"/>	X

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
Teléfono (091) 8281483 Línea Gratuita 018000976000
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
NIT: 890.680.062-2



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAr113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 5 de 7

proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

Información Confidencial:

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado. **SI NO** .

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

LICENCIA DE PUBLICACIÓN

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 6 de 7

- b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.
- c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.
- d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.
- e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.
- f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.
- g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.
- h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el “Manual del Repositorio Institucional AAAM003”
- i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.
-
- j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 7 de 7



MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 3
DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2017-11-16
	PAGINA: 7 de 7



Nota:

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
ANÁLISIS DEL POTENCIAL QUE PRESENTA LOS RESIDUOS DE PODA DEL ÁRBOL NEEM (<i>Azadirachta indica</i>) EN EL CASCO URBANO DE GIRARDOT (CUNDINAMARCA) PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOCHAR Y SU APLICACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS	Texto, Imágenes, gráficas y tablas

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafa)
GUEVARA IBARGUEN LUISA FERNANDAN	

21.1-51.20.

Girardot, 2020-17-06

Señor(es)

Universidad de Cundinamarca

Seccional Girardot

Asunto: Restricción de acceso al documento

Respetados Universidad de Cundinamarca - Biblioteca:

La presente tiene como fin, no autorizar la publicación del documento final, ANÁLISIS DEL POTENCIAL QUE PRESENTA LOS RESIDUOS DE PODA DEL ÁRBOL NEEM (*Azadirachta indica*) EN EL CASCO URBANO DE GIRARDOT (CUNDINAMARCA) PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOCHAR Y SU APLICACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS, debido a que el tutor de este trabajo, desea recopilarlo con diferentes trabajos y formar un libro.

Cordialmente



Luisa Fernanda Guevara Ibarguen

CC. 1.070.624.019 de Girardot, Cundinamarca

lfernandaguevara@ucundinamarca.edu.co

Tel:313-213-8412



ANÁLISIS DEL POTENCIAL QUE PRESENTA LOS RESIDUOS DE PODA DEL ÁRBOL
NEEM (*Azadirachta indica*) EN EL CASCO URBANO DE GIRARDOT (CUNDINAMARCA)
PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOCHAR Y SU APLICACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE
AGUAS

Luisa Fernanda Guevara Ibarguen

Universidad de Cundinamarca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Ingeniería Ambiental

Girardot

2020



ANÁLISIS DEL POTENCIAL QUE PRESENTA LOS RESIDUOS DE PODA DEL ÁRBOL
NEEM (*Azadirachta indica*) EN EL CASCO URBANO DE GIRARDOT (CUNDINAMARCA)
PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOCHAR Y SU APLICACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE
AGUAS

Luisa Fernanda Guevara Ibarguen

**Trabajo de Grado Modalidad Monografía, Presentado como Requisito para Optar el
Título de Ingeniera Ambiental**

Director

John Jairo Sandoval Valencia

Co-Director

Héctor Fabio Cruz Cuéllar

Universidad de Cundinamarca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Ingeniería Ambiental

Girardot

2020



AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero agradecerle a Dios por haberme acompañado en todo el proceso de mi carrera universitaria, pues tuve mis dificultades en algunos momentos, pero con su fuerza, fe y ayuda pude sacarlas adelante. A mi familia, gracias por el apoyo y el acompañamiento, tanto económico, pero más importante en lo emocional. A mi mamá, que es una guerrera pues en su disciplina y amor, me enseñó muchas cosas que aplico en mi vida profesional y así mismo a mi papá por inculcar principios y valores que no solo sirven en la vida profesional sino en la vida cotidiana. A mi hermana y tía luz, que siempre me han apoyado y han sido un ejemplo en mi vida.

Agradezco de ante mano a mi Director John Jairo Sandoval Valencia y Co-Director Héctor Fabio Cruz Cuéllar, por sus buenas enseñanzas académicas, por su paciencia y siempre estar atentos ante cualquier inquietud, me siento favorecida por haber escogido unos buenos tutores que además de enseñanzas para mi vida laboral, me regalaron enseñanzas de vida.



TABLA DE CONTENIDO

Introducción	1
Justificación	4
Objetivos	6
Estado del arte	7
Diseño Metodológico	12
Capítulo 1	
1.1.Aprovechamiento de materiales lignocelulósicos	15
1.2.Biochar	18
1.2.1. Características del biochar	20
1.2.2. Producción del biochar.....	22
1.2.3. Pirolisis (lenta y rápida)	26
1.2.4. Gasificación	27
Capítulo 2.	
2.2.Árbol de Neem (<i>Azadirachta indica</i>).....	28
2.2.1. Origen e historia	29
2.2.2. Características generales	29
2.2.3. Ventajas del árbol de Neem (<i>Azadirachta indica</i>).....	33
2.2.4. Desventajas y amenazas del Neem (<i>Azadirachta indica</i>) para los ecosistemas ...	33



2.3. Usos del Neem (<i>Azadirachta indica</i>).....	34
2.3.1. Uso como Bioinsecticida	34
2.3.2. Uso medicinal	36
2.3.3. Uso forestal	38
2.3.4. Uso industrial	39
2.4. Aprovechamiento del Neem (<i>Azadirachta indica</i>) para la producción de biochar	41
2.5. Potencial del árbol de Neem (<i>Azadirachta indica</i>) en el casco urbano de Girardot.	42
Capítulo 3.	
3.1. Contaminación acuífera	50
3.1.2. Contaminación a las aguas superficiales	50
3.1.3. Contaminación a las aguas subterráneas.....	51
3.2. Sistemas de tratamiento de Aguas en Colombia y en la región del alto magdalena.	52
3.2.1. Planta de tratamiento de aguas residuales	52
3.2.2. Planta de tratamiento de agua potable	57
3.3. Uso del biochar para el tratamiento de aguas residuales.....	59
3.3.1. Aplicación del biochar para una planta de agua potable	62
3.3.2. Aplicación del biochar para aguas subterráneas	64
Conclusiones	65
Recomendaciones	66
Bibliografía	67



LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Geografía de Girardot-Cundinamarca

Tabla 2. Descripción de la metodología

Tabla 3. Diferentes materias primas con su respectiva temperatura para la producción de biochar.

Tabla 4. Principales características del Neem (*Azadirachta indica*).

Tabla 5. Insectos que controla el insecticida.

Tabla 6. Actividades e impactos por la contaminación.

Tabla 7. Primordiales actividades que contaminan las aguas subterráneas.

Tabla 8. Municipios que cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales en la región del alto magdalena.

Tabla 9. Empresas prestadoras del servicio público en la potabilización de las aguas.

Tabla 10. Adsorción de contaminantes según la materia prima y su pirólisis.

Tabla 11. Características físicas- químicas del carbón activado y biochar.



LISTADO DE FIGURAS

- Figura 1:** Ilustración de la producción del biochar por medio de la pirolisis.
- Figura 2:** Mapa del área de estudio, Girardot- Cundinamarca.
- Figura 3:** Estructura de la celulosa
- Figura 4:** Características relevantes del biochar.
- Figura 5:** Características de los procesos de pirólisis.
- Figura 6:** Árbol taxonómico del Neem (*A. indica*).
- Figura 7:** Ventajas y desventajas del árbol de Neem.
- Figura 8:** Características del uso farmacéutico
- Figura 9:** Beneficios según las partes del árbol milagroso
- Figura 10:** Importancia del uso forestal.
- Figura 11:** Importancia del uso forestal.
- Figura 12:** Implementación del Neem (*A. indica*), en el campo industrial.
- Figura 13:** Mapa de la distribución geográfica del Neem (*A. indica*) en Girardot, Cundinamarca.
- Figura 14:** Mapa de densidades.
- Figura 15:** Distribución espacial de los árboles de Neem (*A. indica*).
- Figura 16:** Distribución del Neem (*A. indica*) según los barrios de Girardot.
- Figura 17:** Eliminación de contaminantes por biochar según el sector.
- Figura 18:** Uso del biochar en aguas subterráneas.



INTRODUCCIÓN

El árbol Neem (*Azadirachta indica*) como es conocido en América latina, puede tener su origen en un país asiático llamado Myanmar o Birmania según el centro mundial de agroforestería (2002). Esta especie arbórea, a pesar de ser introducida cuenta con unas grandes ventajas de adaptabilidad en Colombia, debido a que crece en zonas con temperaturas anuales medias de 24° a 32°C (Rúa, M, 2017). Presenta una gran fortaleza y es tolerante a la sequía entre 6 a 9 meses, este árbol ayuda a la conservación del suelo, por ejemplo, aumenta su fertilidad, mejora la capacidad de retención de agua, evita la desertificación controla las plagas que se generan como el control de nemátodos sin contaminar ambientalmente como lo hacen algunos pesticidas (Vuelta y Font, 2007), incrementa un rendimiento en los cultivos agrícolas, ya que, enriquece de nutrientes tanto el suelo como las plantas (Vedavathy y Pia, s.f). Además, de la descripción de algunos servicios eco sistémicos, esta especie presenta propiedades para combatir y mejorar la salud humana, entre ellas se destaca, la lepra, la diabetes, enfermedades de la piel, entre otras (Pijoan, 2004). El Neem (*A. indica*) es considerado como una especie invasora en la puerta del sur de América¹, primordialmente porque compite con las especies nativas del país, las domina hasta erradicarlas, en la fauna, es tóxico, debido a que sus extractos afectan especies de agua dulce como peces y renacuajos, tomando también en cuenta insectos y mamíferos. Así como afecta a cierto tipo de animales, tiene enemigos naturales y es débil ante ellos, porque evitan los procesos para su desarrollo hasta llegar a causar la muerte, estos enemigos pueden ser hongos, bacterias e insectos como el mosquito *Helopeltisantonii* que le causa al follaje del árbol un secado, debido a las toxinas salivares, acelerando su muerte. En Girardot (Cundinamarca,

¹Puerta de sur América: También conocido como Colombia.



Colombia), la ciudad de las acacias² hay gran oportunidad de desarrollo para el árbol de Neem debido a que la ciudad se encuentra ubicada a una altitud de 289 msnm (Parra, Martínez, & Jaramillo, 1970), valor que se encuentra en el rango (de 0 a 1500 msnm) de óptimo crecimiento, es decir a altitudes bajas. (Tewari, 1992).

La lignocelulosa es el principal componente de la pared celular en las plantas, en este caso, es la fuente renovable más prometedora para la solución de problemas actuales de energía y de extracción u obtención de materias primas a base de carbono. (Castillo et al., 2012) La celulosa es uno de sus principales componentes y presenta elevado interés, pues es un biopolímero a base de carbohidratos que está en mayor proporción en los residuos de origen agrícola o de la poda de plantas de ornato, tal como ocurre con el Neem en la ciudad de Girardot. Según lo anterior, en esta monografía se pretende estudiar el potencial que presenta el aprovechamiento de los residuos de poda para la obtención de productos de mayor valor agregado, tal como el biochar. Además, el control del crecimiento y aprovechamiento del tallo, las hojas y las semillas del árbol de Neem podría reducir considerablemente su propagación en la ciudad, y no interrumpe el desarrollo de especies nativas, características de un ecosistema de bosque seco tropical.

El Biochar es un carbón vegetal que se produce de la descomposición térmica de materiales orgánicos (biomasa) con escaso o limitado suministro de oxígeno, por un proceso denominado pirolisis (Escalante et al., 2016). El biochar presenta un gran potencial, puesto que es ampliamente usado en distintas aplicaciones de remediación ambiental, tal como la inmovilización de agentes xenobióticos en el recurso agua, suelo y aire. Por ejemplo, su

²Ciudad de las acacias: Como es conocido la ciudad de Girardot, Cundinamarca, Colombia.



capacidad adsorbente facilita la eliminación de toxinas en medio acuoso. Sus ventajas además de ser económico, rico en contenido de carbono, poroso, es su eficiencia a grande o pequeña escala y su fácil operatividad en el tratamiento de aguas residuales o para consumo humano (Wang y Wang, 2019).

Según la procuraduría nacional de Colombia, en el total de planes de desarrollo analizados, solo la tercera parte (336 municipios) hacen un diagnóstico sobre los sistemas de tratamiento de aguas residuales mientras que en los 672 municipios restantes no hay inclusión del tema. De los 336 municipios solo el 23% (84 comunidades), tienen una planta de tratamiento de agua residual para mitigar los impactos en los acuíferos y en el ambiente, teniendo en cuenta que solo cubre la demanda del casco urbano, del mismo modo, están las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP), 568 municipios (56%) incluyen la cobertura urbana de acueducto en sus diagnósticos, mientras que el 44% restante no lo hace (UNICEF-COLOMBIA, s.f.). Estos datos generan una gran preocupación, lo cual a corto, mediano y largo plazo la seguridad ambiental y la salud humana podrían estar afectadas. Un ejemplo es el municipio de Girardot, tan solo algunas empresas del sector privado cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), como la Clínica San Rafael Dumian; Líquidos Carbónicos, Vereda Barzalosa, Talismán y El Peñón (Guzmán et al., 2017). Mientras el suministro de agua potable es realizado por la empresa Acuagyr, del sector público.

Según la información descrita, la búsqueda de alternativas que garanticen la sostenibilidad de la región siempre serán bienvenidas, en este caso, las temáticas que se abordan en esta monografía van encaminadas al cumplimiento de esa idealización, tal como la comprensión de dos aspectos: i) la



valorización de los materiales lignocelulósicos derivados del árbol del Neem y ii) el uso del biochar para mejorar la calidad del agua.

JUSTIFICACIÓN

El árbol *A. indica* es muy apetecido por los habitantes de Girardot, Cundinamarca, principalmente por su rápido crecimiento, resistencia a largos tiempos de sequía y la capacidad que tiene para brindar sombra, considerando que el índice de precipitación de la ciudad es bajo y presenta una temperatura media de 32°C. Sin embargo, es una especie invasiva considerada por algunos expertos, una “plaga”, que consigo trae distintas ventajas, pero desventajas para aquellos que los rodean, especialmente para las especies arbóreas nativas presentes allí, compite con ellas hasta llegar al punto de desplazarlas o eliminarlas del bosque seco tropical (Rúa, 2017), ocasionando confusiones y la pérdida de aves e insectos. Los extractos del árbol también son una de las problemáticas, puesto que, inhibe el crecimiento y maduración de los insectos hasta ocasionar la muerte y con ello afecta los ecosistemas pues estas especies de fauna, son un papel clave en la fragmentación de la cobertura vegetal, son indicadores ecológicos, se encuentran en los ciclos de nutrientes y en la dieta de otros organismos consumidores (Iannacone, J & Alvaríño, L,2006). El botánico Eduino Carbonó de la Universidad Nacional de Colombia, describe que el árbol interfiere con las relaciones y los ciclos naturales que se dan entre las especies propias del lugar, impidiendo su normal desarrollo. Los múltiples beneficios que posee el Neem lo hacen de continuo interés para su siembra y propagación, es usado para la producción de bioinsecticida, debido a que afecta el desarrollo y la fisiología de las plagas presentes en cultivos, para uso medicinal, de enfermedades que ayuda a prevenir y a corregir como la



dermatitis, el sarampión, la varicela entre otras. En la industria, el aceite extraído de las semillas es usado para la fabricación de jabones, fármacos y biocombustible (Cruz y del Ángel, 2004), incluso de las ramas y troncos, residuos de poda y corte, se podría generar energía mediante la reacción de combustión o por la pirolisis controlada se obtiene adicionalmente carbón. El biochar obtenido puede ser empleado como un material económico y eficiente para favorecer los procesos de potabilización de aguas e incluso para desarrollar novedosas estrategias para tratar aguas residuales, promoviendo su reúso o mejorar su calidad antes de realizar un vertimiento industrial o de tipo doméstico.



OBJETIVOS

Objetivo general. Analizar el potencial que presenta los residuos de poda del Árbol del Neem (*Azadirachta indica*) en el casco urbano de Girardot, para la producción de biochar y su aplicación en el tratamiento de aguas.

Objetivos específicos.

1. Estudiar las técnicas para la producción de biochar a partir de materiales lignocelulósicos.
2. Argumentar las ventajas del aprovechamiento del Árbol del Neem (*Azadirachta indica*) para la elaboración de biochar.
3. Definir el potencial del biochar en procesos de tratamientos de aguas.



ESTADO DEL ARTE

El Nim³ (*A. indica*) es una planta cuyo origen se dio en las montañas de la india y del continente asiático, exactamente en Birmania. Su propagación se realizó por medio de semillas (frutos del árbol), siendo algunas aves y murciélagos quienes realizan el fundamental papel de hacer la dispersión, por lo tanto, hoy en día se encuentra distribuido en más de 78 países (Cruz y del Ángel, 2004). Desde miles de años atrás, este árbol es usado para la realización de fármacos, por eso también es conocido en el subcontinente indio como la farmacia de la aldea, donde los antiguos indios descubrieron muchos usos terapéuticos y por ello, el nombre actual que recibe, se origina de la palabra nimba, lo cual hace alusión a la capacidad de otorgar salud (Pijoan, 2004). Además de sus aplicaciones medicinales, una de las alternativas es la producción del carbón vegetal (biochar), conocido como un combustible sólido y reductor metalúrgico en las industrias más antiguas. Tal como se ilustra en la Figura 1, la fabricación de este carbón se da por medios tradicionales de combustión y una de sus desventajas ambientales es la producción de sustancias orgánicas volátiles las cuales afectan la calidad del aire (Downie, 2011).

³Una manera de nombrar el árbol de Neem.

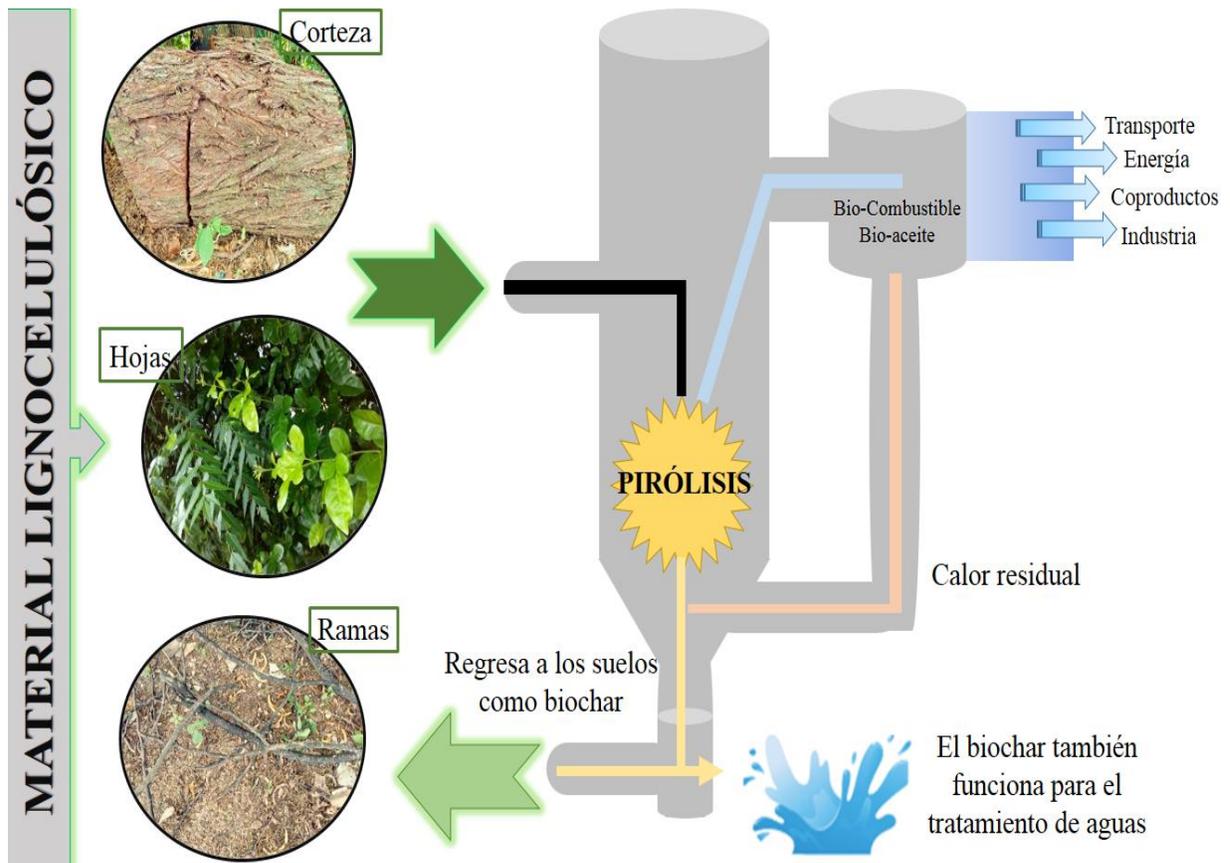


Figura 1. Ilustración de la producción del biochar por medio de la pirolisis. **Fuente:** Carmona, 2019 en CICEANA, **Modificado por:** Guevara, 2020.

Las características físicas del biochar no dependen solamente del material orgánico (biomasa), los principales factores son las condiciones en las que se genera la carbonización o el sistema de pirolisis, tales como la temperatura y la mínima concentración de oxígeno para reducir la reacción de combustión (Downie, Munroe y Crosky, 2009). Cuando la temperatura de la pirolisis es superior a 500 ° C, se hacen más aromáticos y la polaridad disminuye debido a la pérdida de grupos funcionales, afectando la adsorción de las sustancias, cuando la temperatura es menor a 300 ° C, los grupos funcionales aumentan (Durán, 2017).



La bio-economía ha tomado fuerza en los últimos años debido a las problemáticas ambientales que han presentado por el mal uso de los recursos naturales. Esta ciencia cuenta con tres importantes componentes para su desarrollo, el conocimiento que va ligado a la biotecnología, el uso de la biomasa y, por último, la unión entre el conocimiento y las buenas aplicaciones de la biotecnología (Nates, 2014).

Actualmente las industrias que se encuentran destinadas a la producción de biocombustibles y de gas sintético (syngas, mezcla de hidrógeno molecular y monóxido de carbono), han optado por producir y aprovechar el biochar en sus actividades. Japón es uno de los países que aprovecha el biochar y anualmente comercializan 1500 toneladas de biochar para diferentes usos (Paco, 2012), principalmente para aplicaciones agrícolas como una forma de reciclar nutrientes y gestionar ecosistemas agrícolas, incidiendo en la lucha contra la pérdida de suelo forestal y agrícola, mejorando su fertilidad y evitando su empobrecimiento (Iglesias, 2018), También, es un buen componente para los sistemas de tratamiento de aguas residuales, siendo implementado para las plantas de tratamiento de aguas residuales, donde ayuda a la descontaminación de las aguas, adsorbiendo las sustancias tóxicas (Lizarazo y Orjuela, 2013). De esta manera, es importante potencializar el uso del carbón vegetal en Colombia, puesto que, es un país que avanza a pasos lentos en materia de saneamiento hídrico, son pocas las aguas tratadas en comparación a las aguas residuales generadas. Hay que tener en cuenta la importancia de proteger el medio ambiente, pero, sobre todo, tener en cuenta la salud pública y a lo que ello conlleva por no contar con sistemas adecuados para asegurar la calidad de las fuentes hídricas (Santamaría y Villa, 2004).



A través del tiempo se han usado tratamientos convencionales para eliminar los contaminantes biológicos, orgánicos e inorgánicos de los cuerpos de agua, estos métodos son: filtración por membrana, sistemas de intercambio iónico, ultrafiltración, osmosis inversa, coagulación, floculación y precipitación química. Los procedimientos mencionados presentan puntos débiles, su elevado costo de operación y mantenimiento (excepto para los procesos fisicoquímicos), tienen menos capacidad de adaptación y algunos requieren de pretratamientos, de esta manera, el biochar ha demostrado ser, un importante método para la captura de metales tóxicos y colorantes, para la creación de un ambiente libre de contaminación (PR Yaashikaa, et al., 2019). Se tiene la expectativa de que el biochar es igual al carbón activado, pero existen diferencias entre estos dos, principalmente en el control de las variables para su producción y en el uso de agentes externos para mejorar su área superficial y/o porosidad, otra característica es el uso, el carbón activado es comúnmente usado para procesos de purificación y el biochar para aplicaciones agrícolas (Wang, J. y Wang, S., 2019).

En esencia, los residuos orgánicos, particularmente aquellos que se derivan de la biomasa (la lignocelulosa) como producto de la captura de CO₂ realizado por las plantas a través de la fotosíntesis, puede ser aprovechado considerablemente para la obtención de energía, metano, gas de síntesis (H₂ + CO), extractos naturales, aceites y carbón. Por lo tanto, el aprovechamiento de los residuos de poda del árbol del Neem (*A. indica*) se convierte en una interesante idea de estudio en el municipio de Girardot, por sus múltiples aplicaciones y el actual riesgo ecosistémico al ser considerado como una especie invasora. Por lo tanto, la indagación y el análisis bibliográfico podría promover la generación de proyectos productivos que le apunta a la



sostenibilidad de la región y sea un modelo a seguir en otros municipios de Colombia con similares características.

DISEÑO METODOLÓGICO

Descripción del tema o área de estudio

Girardot es un municipio ubicado en el departamento de Cundinamarca, se encuentra en el valle interandino del alto magdalena y desarrollado a la rivera del Rio magdalena (Pizano y García 2014), en el cual predomina la zona de vida Bosque Seco Tropical (BST) según Holdridge (1978), en este bosque se pueden distinguir dos tipos de bosques; primario y secundario, pero por la constante deforestación que se presenta, se ha perdido gran cobertura del mismo. Esta zona de vida, posee una altitud de 289 msnm (ver tabla 1) y una extensión de 133 km² de acuerdo el instituto geográfico Agustín Codazzi.

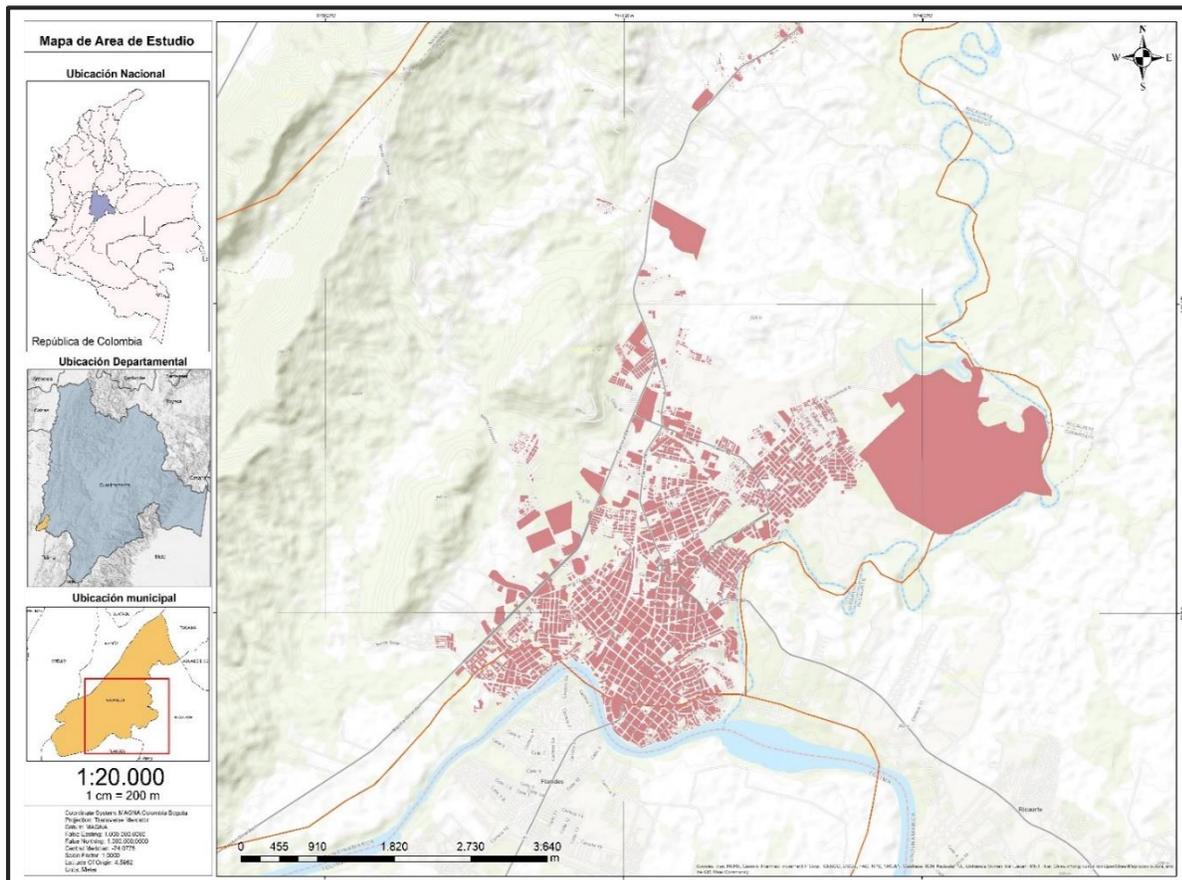


Figura 2. Mapa del área de estudio, Girardot - Cundinamarca. **Elaborado por:** Cruz, 2020.

Fuente: IGAC

Tabla 1. Geografía de Girardot-Cundinamarca

COORDENADAS GEOGRAFICAS		T (°C)		ALTITUD	PRECIPI TACIÓN	DISTANCIA A BOGOTA	
Latitud Norte	Longitud Oeste	Máx.	Min.	MSM	mm	Km	Horas
4°18'18"	74°48'06"	38,3°	29,3°	289	1200	134	3
LIMITES							
NORTE		SUR		ESTE		OESTE	
Nariño y Tocaima		Flandes y el Río Magdalena		Ricaurte y el Río Bogotá		El Río Magdalena y el municipio de Coello	

Fuente: (Parra, Martinez, & Jaramillo, 1970) y (Gaitan, & Ocampo, 2016). **Fuente:** Propia

El documento monográfico titulado, Análisis del potencial que presenta los residuos de poda del Árbol Neem (*A. indica*) para la producción de biochar y su aplicación en el tratamiento de aguas en el casco urbano de Girardot, se enfatiza en la solución de varias problemáticas por medio de la producción de biochar, estas problemáticas son: el mal aprovechamiento de los residuos de poda y corte del Árbol de Neem (*A. indica*) y la contaminación acuífera.

Métodos, técnicas y/o instrumentos de análisis

Técnicas o instrumentos para la recolección de datos

Por medio de plataformas científicas como: Scopus, elsevier, scielo, artículos por google académico, tremarcos Colombia, sciencedirect, biblioteca virtual de la universidad de Cundinamarca, se investiga y se profundiza de acuerdo a la temática desarrollada en el documento.

Se hará el uso de mendeley como gestor bibliográfico, ya que es un programa que facilita la trazabilidad de la información y la forma de citar en normas APA.

Método de análisis

Por medio de oficinas del estado o institucionales bien sea privadas o públicas, se da la recolección de información de primera mano cómo lo es el inventario forestal de Girardot.

Metodología

La metodología se realiza teniendo presente los objetivos establecidos y las estrategias para su cumplimiento, tal como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 2. Descripción de la metodología

OBJETIVO	MATERIALES	ESTRATEGIA
1. Estudiar las técnicas para la producción de biochar a partir de materiales lignocelulósicos.	Bases de datos	Recopilación de información mediante el uso de bases de datos. Estudiar los métodos y/o variables para la producción de biochar.
2. Argumentar las ventajas del aprovechamiento del Árbol del Neem para la elaboración de biochar en un ecosistema de Bosque Seco tropical.	Base de datos	Contextualizar sobre la importancia del uso de los residuos de poda y corte del árbol de Neem en Girardot.
3. Definir el potencial del biochar en procesos de tratamientos de aguas.	Base de datos e información primaria: “inventario forestal de Girardot”	Análisis de la cobertura del árbol de Neem en Girardot mediante el uso del Programa Arcgis. Definir su potencial en la solución de problemas ambientales en la región. Estudiar la problemática de la contaminación de fuentes hídricas en la zona de estudio, y su posible solución.

FUENTE: Propia

Para dar cumplimiento a los objetivos establecidos, este trabajo monográfico se divide en 3 capítulos: i) Se describirá las ventajas que existen sobre el aprovechamiento de materiales lignocelulósicos y las consideraciones generales sobre la producción de biochar. ii) En este



apartado se estudiará las bondades y desventajas del árbol de Neem (*A. indica*), Además se analizará el potencial que presenta el municipio de Girardot para el aprovechamiento de residuos de poda en la producción de biochar. Y, por último, iii) Se analizará las aplicaciones del biochar para preservar y mitigar problemáticas ambientales en el recurso hídrico.

CAPITULO 1

1.1.APROVECHAMIENTO DE MATERIALES LIGNOCELULOSICOS

El camino a un desarrollo sostenible y de dar un mejor valor a los recursos naturales, ha llevado al ser humano a buscar, investigar, analizar y hacer uso de nuevas fuentes que no agraven más las problemáticas ambientales presentadas por el uso de recursos no renovables, sino que ayuden a minimizar los daños en la producción y consumo. El material lignocelulósico (componente de la pared celular de las plantas) se ha revelado como una fuente fundamental en materias primas por su fácil disponibilidad, extensión y la mínima contaminación que ocasiona.

Los materiales lignocelulósicos, son aquellos que presentan en su composición elevada concentración de carbono, hidrógeno y oxígeno, provenientes principalmente de la flora, de los cuales se puede extraer energía, por ejemplo, residuos agrícolas de las cosechas del maíz, arroz, caña de azúcar entre otros, teniendo en cuenta los arboles forestales, donde se encuentran tal vez las mayores proporciones de residuos (ramas, palos y hojas) (Cortes, 2011).

Este material tiene en su estructura, tres diferentes biopolímeros; la celulosa, la hemicelulosa y la lignina. De los biopolímeros naturales dichos anteriormente, el más abundante es la celulosa. Este polímero (constituido por unidades de glucosa o carbohidratos) es el principal componente

de la pared celular, puesto que, contiene unas fibras que componen los árboles y todas las plantas, siendo este elemental para su estructura por el soporte que le brinda (Ver Figura 3). Anualmente, miles de millones de toneladas se forman de esta celulosa por medio de la fotosíntesis. (Grabowska, 2010). La celulosa es extraída de la madera, tiende a ser una de las más usadas en la industria para la obtención de combustibles y papel, pero también puede ser aprovechada para la producción de biochar.

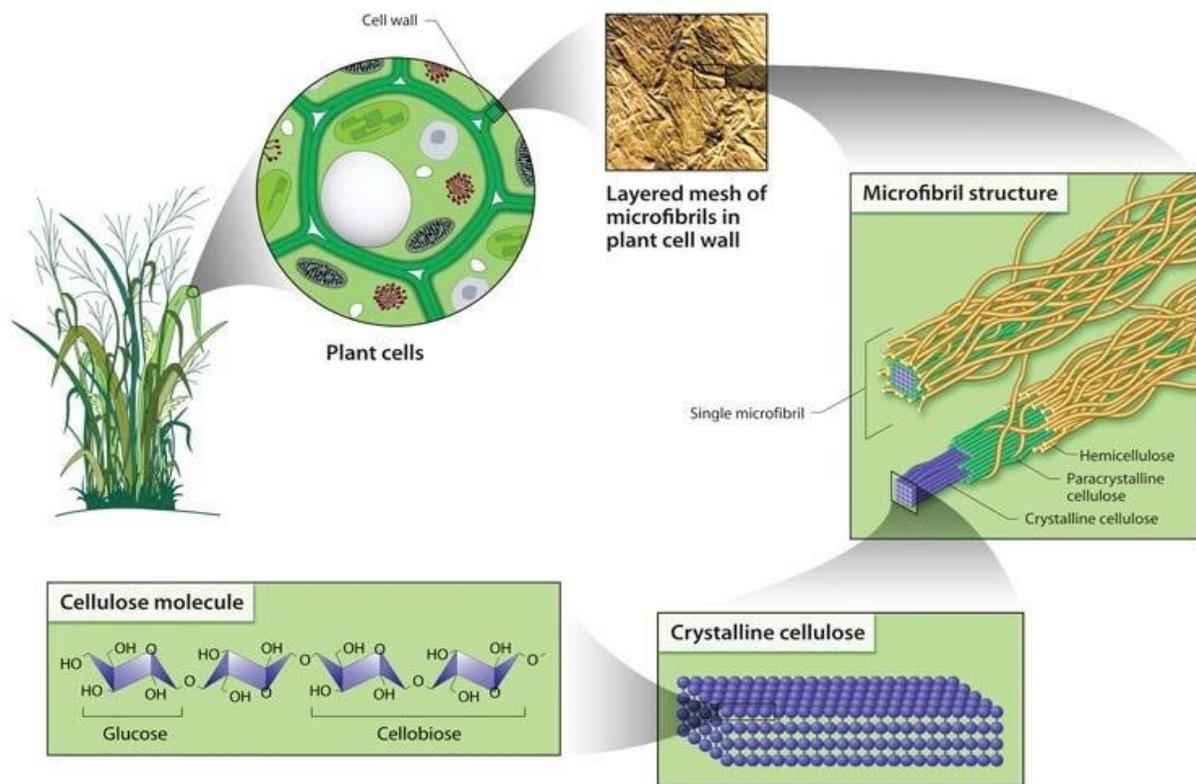


Figura 3. Estructura de la celulosa. **Fuente:** Batista, 2007.

A través del tiempo, se ha descubierto el gran impulso y aprovechamiento del material lignocelulósico para uso energético y en la obtención de biocombustibles, como el etanol, el cual contribuye a la reducción de la contaminación atmosférica respecto a la gasolina tradicional,



debido a su limpia combustión, ya que no produce óxidos de nitrógeno (NO_x) y óxidos de azufre (SO_x).

Los materiales lignocelulósicos, son materiales usados actualmente en las industrias, los cuales han sido estudiados con el objetivo de lograr un buen aprovechamiento desde lo global o integral. Es decir, en la mayoría de los casos se realiza un proceso térmico para la obtención limitada de productos. Por otra parte, el aprovechamiento a nivel integral consiste en llevar a cabo distintos pretratamientos, logrando una separación de varios subproductos, tales como la celulosa, la lignina y la hemicelulosa. (Barroso, 2010)

El uso del eucalipto (*Eucalyptus globulus*), es una alternativa que ha tomado fuerza con el tiempo, debido a su rentabilidad, por ser un producto renovable y su valorización en la cadena productiva. En el estudio doctoral de Iglesias (2018), revelan que este material lignocelulósico es aprovechado para la industria papelera y textil, además, ha demostrado que la mayor cantidad de biochar se obtiene de las ramas por su elevado contenido de lignina. De la misma manera sucede con el tallo de maíz (*Zea mays*) y la rama de sauce (*Salix humboldtiana*), los cuales fueron investigados para producir biochar y ha sido empleado para adsorber cadmio en muestras de agua. (Chen et al., 2020) Los residuos de la paja de arroz (*Echinochloa colona*) y la caña de azúcar (*Arundo donax*) han sido usados para obtener el carbón vegetal y han resultado ser eficientes en procesos de fertilización de los mismos suelos donde se desarrollan las actividades agropecuarias. Por otra parte, se encuentra el tallo de girasol (*Helianthus annuus*), el tagasaste (*Chamaecytisus proliferus*) y el árbol de dragón (*Paulownia fortunei*), materiales que fueron



evaluados por medio del fraccionamiento integral, a partir de la autohidrólisis⁴, permitiendo la obtención de bioetanol, combustible para los vehículos y otros subproductos como pasta para papel, energía y compost.(López et al., 2008).

La anterior descripción pone de manifiesto las múltiples aplicaciones que presenta la biomasa, además de la producción de alimentos, los residuos pueden ser valorizados para favorecer los mismos procesos, lo cual el concepto de economía circular en los países ricos en recursos naturales como y en vía de desarrollo como Colombia, se potencializa.

1.2.BIOCHAR

El deterioro ambiental ha sido una de las problemáticas que más ha preocupado a los investigadores científicos, pues es un desafío encontrar soluciones que sean capaces de disminuir un alto porcentaje el daño continuo. Son muchos los estudios e investigaciones que se han realizado en términos de producción energética y valorización de productos. Además de ser amigables con el medio ambiente, se deben fomentar estrategias para reducir el consumo y en algunos casos la obtención de productos que atentan con la salud de las personas a largo plazo.

El biochar se presenta como un producto que contribuye a los distintos programas de gestión ambiental al poseer propiedades benéficas que son útiles en el suelo, en el agua, en la agricultura, entre otras. El termino biochar en la actualidad es medianamente conocido, pues a través del tiempo como los materiales lignocelulósicos han tomado fuerza por sus múltiples aplicaciones gracias a los nuevos avances científicos y optimización de procesos a escala industrial, que se

⁴ Autohidrólisis: método hidrotérmico, en el cual usan agua a temperatura elevada, así producir una hidrólisis para llegar al ácido acético, el cual funciona como un catalizador para solubilizar las hemicelulosas presentes en la planta.



han centrado en reducir la dependencia de los combustibles fósiles bajo la obtención de sustancias químicas. El biochar es un producto muy usado en el sector agronómico, ya que presenta cualidades importantes para el suelo y la productividad del mismo, por ejemplo, mejora la capacidad de retención de agua, favorece la oxigenación, reduce la volatilización de nutrientes, entre otros factores que contribuyen al crecimiento de las plantas. Respecto al recurso agua, las investigaciones son menores porque se centran en el uso de carbones activados para la retención de contaminantes y en algunos casos aplicaciones médicas (Lehmann y Joseph , 2009).

¿Qué es el biochar?

Este término ha sido usado en relación con la producción de carbón vegetal. Es un producto rico en carbono, obtenido a partir de biomasa como la madera, el estiércol, hojas, ramas, etc., técnicamente, es un material sólido que se obtiene y/o produce por una descomposición térmica de material orgánico bajo un suministro limitado de O_2 o bajo atmósfera de N_2 (Lehmann y Joseph , 2009). Se debe tener presente que en algunos nombran al agrichar como si fuera un sinónimo de biochar, pero en realidad no es así, es importante no confundir estos dos términos, la gran diferencia es que el agrichar proviene de materiales no biológicos.

El biochar es un material estable, almacena el carbono y preserva sus propiedades fisicoquímicas. (Kuzyakov, Subbotina, Chen, Bogomolova, & Xu, 2009). Teniendo en cuenta las propiedades superficiales (área y porosidad) del biochar, estas favorecen el control sobre la retención de contaminantes, por ello es usado en la captura de metales pesados, bien sea en suelos o en el recurso hídrico.



1.2.1. CARACTERISTICAS DEL BIOCHAR

La selección de materias primas y las condiciones de pirolisis, son características principales para conocer las propiedades del biochar y su eficiencia (Lehmann et al., 2011), es más, la materia prima es la que determina la composición química, en cuanto a la temperatura, esta determina el área superficial, el tamaño del poro, el volumen, la distribución como la adsorción. .

Como se puede observar en la Figura 4, una de las condiciones para obtener excelentes características y propiedades en el biochar, es la temperatura, cuando son altas, se producen mayores áreas superficiales, mayor aromaticidad y capacidades más grandes de adsorción. Posee una característica que lo diferencia de los otros carbonos orgánicos, es persistente en el medio ambiente por más tiempo (Lehmann, 2007). En la producción del biochar, el material volátil se libera, cuando se le aplica temperatura, este producto posee estructuras aromáticas y también alifáticas, las cuales, facilitan el proceso de degradación (Schmidt, & Noack, 2000).

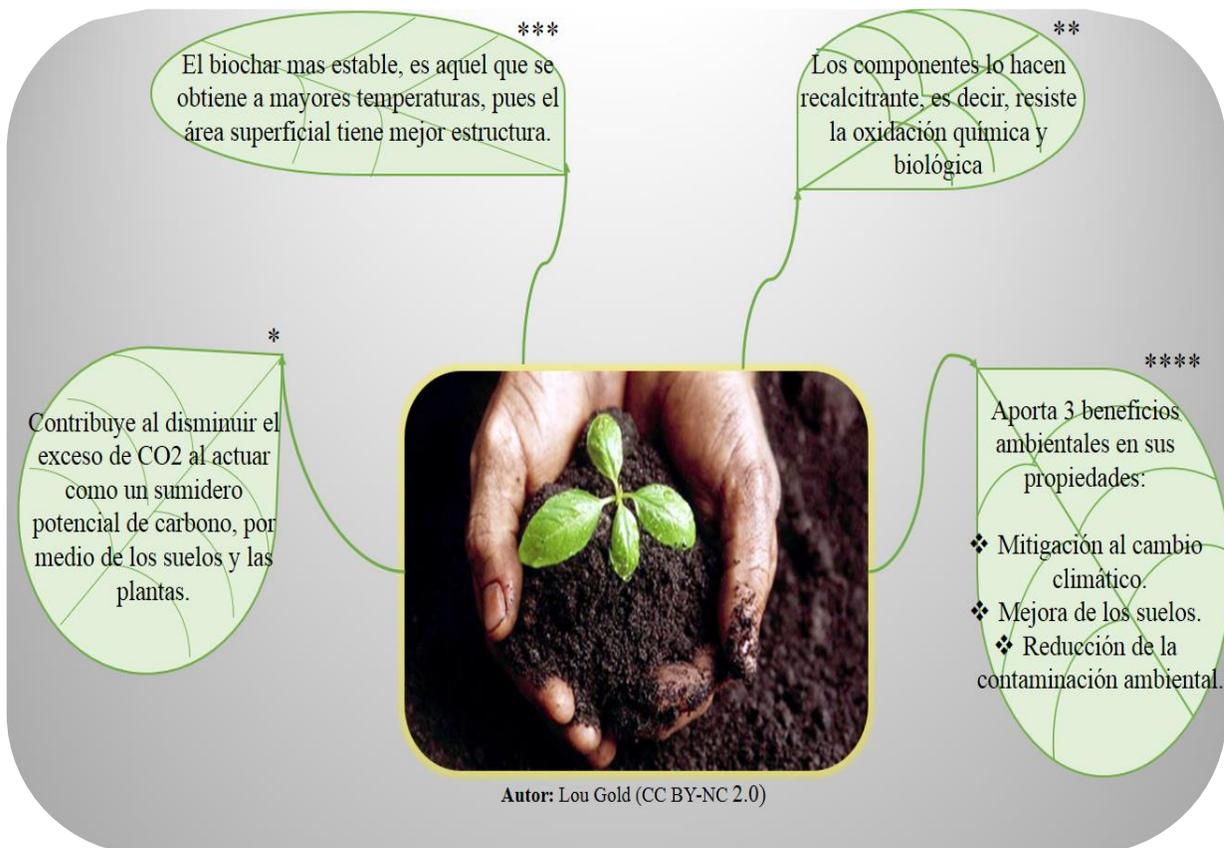


Figura 4. Características relevantes del biochar. **Elaborado por:** Propia. **Fuente:** (Verheijen et al, 2019) *, (Lehmann y Joseph, 2009) **, (Escalante et al., 2016) ***, (Lehmann, 2007) ****.

Características físicas

- ❖ Sólido carbonoso de color negro
- ❖ Sus características estructurales, varían por el tipo de material y el tiempo de pirólisis
- ❖ Compuesto por diferentes tamaños de partículas, dependiendo de la fuente y el tamaño de la materia prima.
- ❖ Posee alta porosidad, macro, meso y microporos, estando este último, asociado a la adsorción de compuestos líquidos, sólidos y gaseosos. (Escalante et al., 2016).

Características químicas

- ❖ Su pH varía de ácido a alcalino, teniendo un promedio de 8,1. (Chang, & Xu, 2009)
- ❖ Tiene un intercambio catiónico (CIC) variable, es menor cuando las temperaturas son bajas y mayor cuando estas aumentan o son altas. (Lehmann, 2007).

Estructura del biochar

El biochar contiene unas propiedades específicas como es la estructura porosa y su alta superficie, dichas anteriormente, pues estas propiedades son una de las principales de sus estructuras, tanto la superficie como el área superficial, son los mayores responsables de la retención de nutrientes, de agua y de algunos compuestos orgánicos, en su distribución de poros como en su tamaño, influye la lignina o la celulosa, puesto que la densidad de la materia prima, determina el área superficial. (Mukherjee, Zimmerman & Harris, 2011).

1.2.2. PRODUCCION DEL BIOCHAR

El desarrollo tecnológico en la industria bioenergética, ha incluido los procesos térmicos como la combustión, licuefacción, pirólisis y gasificación de la biomasa, a partir de estos procesos, se obtienen productos como biogás, bio-aceite y biochar (residuo sólido). La producción del biochar como se puede observar en la Figura 1, tiene su inicio en la combustión anaeróbica (pirólisis) de alguna biomasa natural (Abenza, 2012). Como se había mencionado en el presente trabajo, la lignocelulosa, es la materia prima que se usa principalmente y según Demirbas (2000), esta se destruye a temperaturas inferiores de 325 K (51,85 °C), pues la celulosa

se degrada térmicamente por dos tipos de reacción; una degradación gradual, es decir una descomposición y carbonización al calentar y la segunda, una rápida volatilización.

Para poder entender un poco más el proceso de producción, se debe tener en claro, cual es el proceso térmico a usar, la pirólisis, en primer lugar, este proceso o tratamiento técnico es usado para la descomposición de la materia orgánica a altas temperaturas (300-900° C), teniendo en cuenta que es sin presencia de oxígeno (Cueto, 2016) y, por último, el rendimiento del producto, depende de esta transformación. Al aplicar un incremento en la temperatura, se genera un descenso de la materia volátil y aumenta el carbono.

Tabla 3. Diferentes materias primas con su respectiva temperatura para la producción de biochar.

MATERIA PRIMA	T °C	OBSERVACIONES
Pino Patula (<i>Pinus patula</i>)	370 °- 470 °	A estas temperaturas, el proceso de pirólisis es de manera adecuada, por lo tanto, al obtener el biochar, este es usado como material combustible en calderas o para generación de gases, por medio de la gasificación. Realizaron un análisis por medio del poder calorífico (PCS) ⁵ del material y así identificaron la temperatura adecuada para producir mejor el producto. Fuente: (Castro, 2018)
Madera de Álamo	250 °- 800°	Se identificó en este trabajo que a medida que la temperatura aumentaba en la pirólisis de este material, el contenido de carbono aumentaba. Las temperaturas inferiores a 250 °C el contenido de C, no cambiaba notoriamente, pues el proceso no debió completarse del todo. Al tener un rango de 550° a 650° C, hubo formación de estructuras y propiedades, pero por encima de los 650°

⁵ Poder calorífico superior: Es la cantidad de energía que se desprende de un material en la reacción de combustión, referida la unidad de masa del mismo.

		<p>C, algunas estructuras comenzaban a tener defectos, por lo que su producción se debe dar en los rangos ya dichos.</p> <p>Fuente: (Zhang et al., 2020)</p>
Chlorella Vulgaris (Microalga)	450° - 850°	<p>El estudio realizado por Nejati et al., 2020, identifican la microalga como potencial materia prima para producir bio-aceite, bioenergía y biocombustibles, de la misma forma, el biochar, pero este último es usado para mejorar el rendimiento en la obtención de los otros productos, cumpliendo la función de ser un catalizador en la pirólisis a 650°C (mayor eficiencia en la obtención).</p>
Madera de Pino	400 - 900°	<p>El rendimiento de producción de biochar es a 600° C, si se hace un incremento, el rendimiento disminuye, debido a que se daría más fracción gaseosa que sólida. Para la eficiencia en el aumento del contenido de carbono, se obtuvo un 80,8% a 400° C y un 92% a 600°C.</p> <p>Fuente: (Urien, 2013)</p>
Eucalipto (Eucalyptus globulus)	250°, 400° y 550°	<p>Se analizó la aplicación del biochar a partir de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>) en cultivos de maíz y se observó el rendimiento, asimismo se encontró un incremento en ello, aumento la proteína del grano seco de la semilla y al aplicar el biochar en los cultivos, incremento el pH, favoreciendo los suelos, ya que actúa como un compensador de acidez e incrementa el secuestro de carbono.</p> <p>Para la producción del biochar, se usaron distintas pirólisis, consiguiendo un buen resultado a 400° C con un tiempo de 2 horas, en horno de mufla⁶, pero cuando se aplicó otro tipo de pirólisis, el de bajo tierra, hubo mayor dificultad en el control de la temperatura.</p> <p>Fuente: (Iglesias, 2018)</p>
Biomasa de ramio u ortiga (Boehmeria nivea)	300°	EFICIENCIA
	500°	99, 10%
		85, 9%

⁶ Horno de mufla: Equipo de alta temperatura.

<p>Semillas de Eleagnus angustifolia (<i>Eleagnus angustifolia</i>)</p>		<p>Los porcentajes antes presentados, son los datos más altos de eficiencias en la remoción de Cr (VI), por medio del biochar.</p> <p>Fuente: (Parra et al., 2018)</p>
<p>Cascarilla de maní</p>	<p>650°</p>	<p>Se dio la producción de biochar por medio de la cascarilla de maní, implementado en la remediación del humedal “Jaboque”, con el propósito de reducir los niveles de contaminación por Cromo.</p> <p>Fuente: (Parra et al., 2018)</p>

Fuente: propia

La tabla 3, muestra una recopilación de fuentes bibliográficas de distintas materias primas y la temperatura adecuada para la obtención de biochar, además de las observaciones más relevantes encontradas en la literatura con relación a las principales características de la producción, encontrando un análisis en que es preferible la pirólisis rápida a la lenta, para la producción de líquidos como el bio- aceite (Arteaga, Arenas, López, Sánchez, & Zapata, 2012) y respecto al material solido (biochar), al depender de la materia prima, la pirolisis puede ser lenta o rápida pero en la mayoría de los casos, es lenta.

Para la producción del biochar, se debe tener en cuenta, los mecanismos o etapas de formación durante el proceso de la pirólisis:

Etapas de inicio: En esta etapa se da la pérdida de humedad, en donde, se elimina el agua y luego se volatilizan⁷ los compuestos.

⁷ Volatilizar: Hacer pasar un cuerpo de estado líquido a gaseoso.

Etapa media: Es producido el biochar primario al realizarse una volatilización de los compuestos orgánicos.

En la última etapa: el biochar primario, se descompone y forma solidos residuales que tienen un alto contenido de carbono fijo. (Demirbas, 2000)

1.2.3. PIRÓLISIS (LENTA Y RÁPIDA).

En la Figura 6, se puede observar las características principales de los procesos de pirólisis, lenta y rápida, evidenciando algunas diferencias como lo es el tiempo de residencia, la pirólisis rápida es más efectiva para los productos líquidos y la lenta, en sólidos, de acuerdo a la temperatura, tienen similitudes con la diferencia en que depende también de la materia prima.

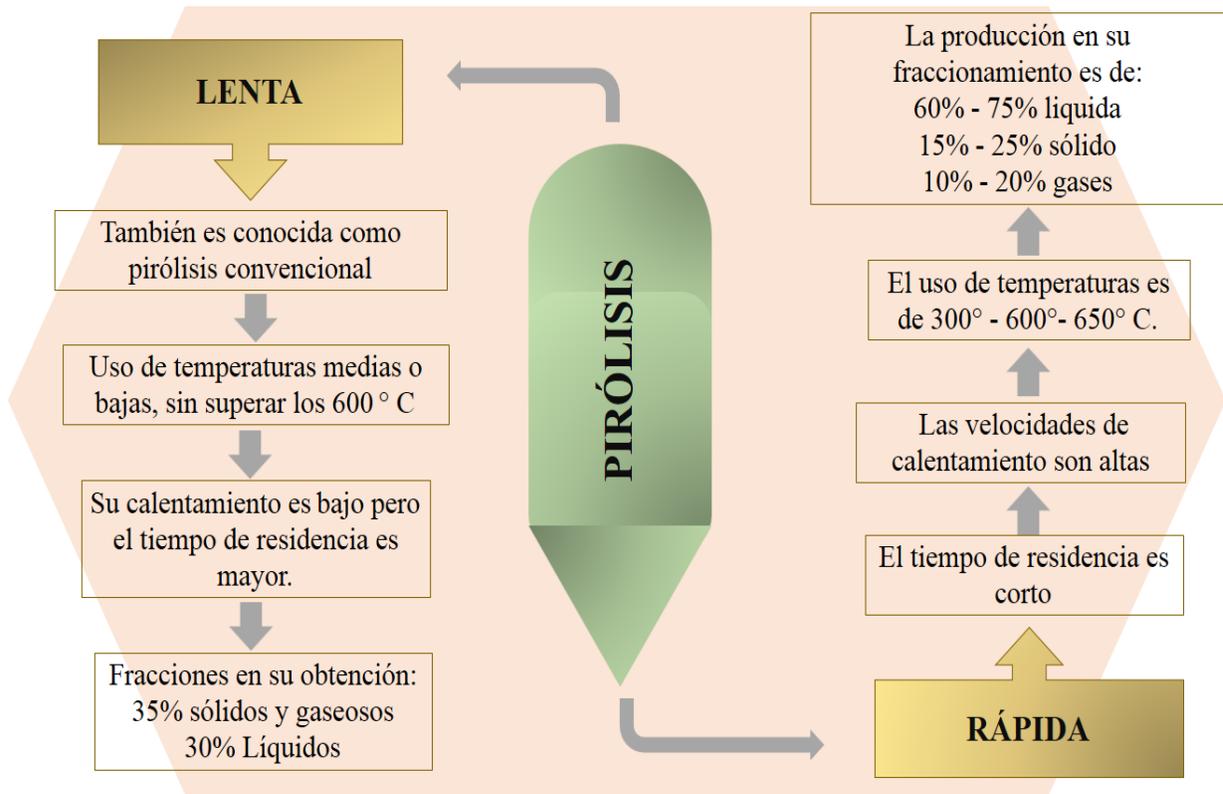


Figura 5. Características de los procesos de pirólisis. **Elaborado por:** Propia **Fuente:**

(Castro, 2018) y (Giraldo, 2012).



1.2.4. GASIFICACIÓN

Los sistemas de gasificación / combustión de residuos sólidos sea de origen forestal, agrícola o urbana, ha tomado interés a nivel global, debido a la generación de energía, situada dentro del desarrollo sostenible (Pérez, Borge, y Agudelo, 2009).

Este proceso es la conversión de material sólido carbonaceo, en gas de síntesis (Syngas) y combustible, este último, sirve para generar potencia, hidrogeno o compuestos químicos (Peña, Flórez, y Vargas, 2014). Este proceso aporta mayor valor a la generación energética por medio de biomasa, el gas producido, se usa en la generación térmica como eléctrica (Pérez, Borge, y Agudelo, 2009). La materia prima como la biomasa, es oxidada a 500° - 900° - 1300° C, en presencia de un agente gasificante (aire, oxígeno, vapor, CO_2 o las mezclas de los componentes antes dichos) (Göransson, Söderlind, He, & Zhang, 2011).

Para la realización de una gasificación directa, el agente oxidante, es oxidada la materia prima parcialmente con la proporción de calor en el proceso, para realizar una gasificación por debajo de 900° C, se debe hacer uso de un lecho fijo o un lecho fluidizado, pero cuando la temperatura es de 1300° C es por medio de un gasificador de flujo de arrastre. (Göransson, Söderlind, He, & Zhang, 2011).

CAPITULO 2

2.2. ÁRBOL DE NEEM (*A. indica*)

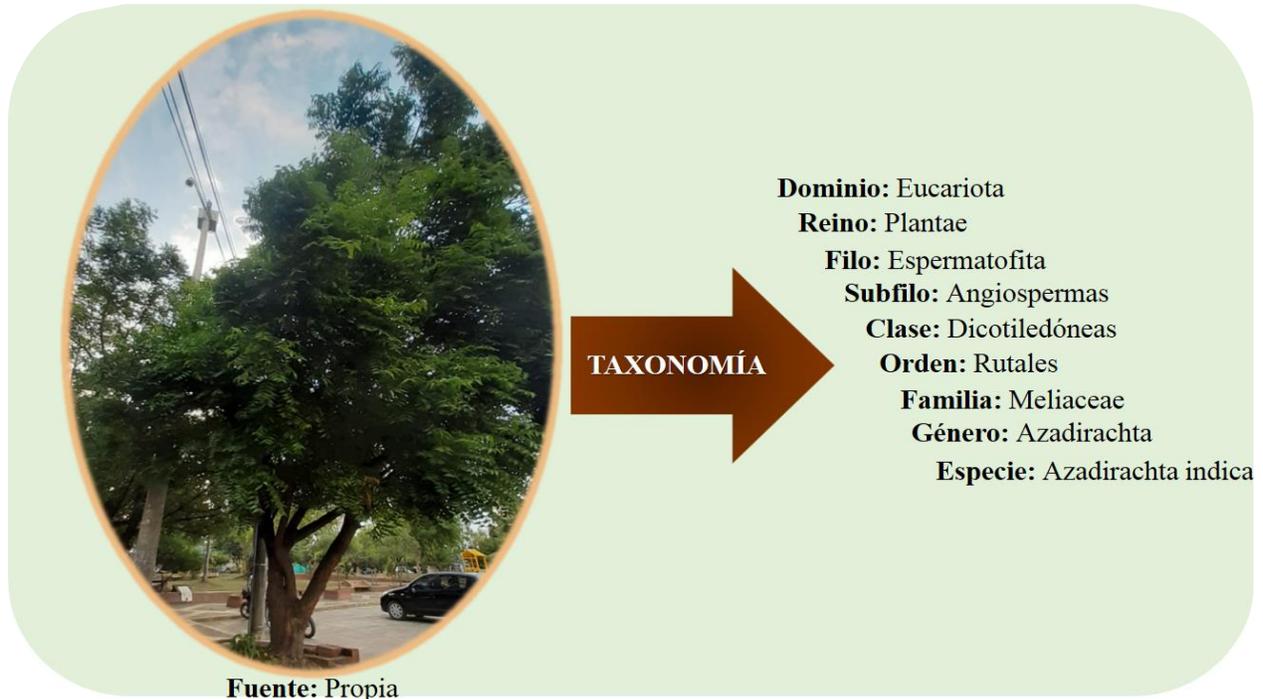


Figura 6. Árbol taxonómico del Neem (*A. indica*). **Elaborado por:** Propia. **Fuente:** (Rojas y Acevedo, 2014)

como un árbol de rápido crecimiento, puede alcanzar de 15 a 20 m de altura con flores blancas y fragantes (Porcuna, 2011). Posee una copa redonda y grande de 10 a 20 m de diámetro, la corteza es moderadamente gruesa, las hojas son alternas, apiñadas cerca al final de las ramas, su color es verde claro, sus flores son bisexuales o masculinas y los frutos son de 1 a 2 semillas con 1-2 cm de largo, de color verdoso, amarillo verdoso (Rojas y Acevedo, 2014). Es una especie arbórea apetecida por su frondosidad, resistencia a la sequía y capaz de ofrecer sombra, siendo esta la causa de ser plantado en las ciudades

2.2.1. ORIGEN E HISTORIA

Es una planta originaria de la india y Birmania, ubicada al sur de Asia y de la india, crece en los bosques de las regiones más secas. Siendo introducido en distintos países latinoamericanos como Estados Unidos y Brasil (Porcuna, 2011).

En la antigüedad el Neem (*A. indica*) ha sido usado para la creación de productos, siendo usados en la vida diaria como lo son insecticidas naturales, farmacéuticos y en algunas ocasiones alimentario. A través del tiempo y de los usos convencionales de esta especie, en la actualidad se encuentra presente en más de 78 países, estando la mayoría en Asia. En este continente como en la india es una de las plantas más usadas y antiguas, pues ha sido y es empleada en preparaciones medicinales para la salud interna como para la belleza externa (Cruz y del Ángel Sánchez, 2004).

2.2.2. CARACTERISTICAS GENERALES

Tabla 4. Principales características del Neem (*A. indica*).

CARACTERISTICA	DESCRIPCIÓN Y/U OBSERVACIONES
CRECIMIENTO	<p>La propagación de esta especie se da por medio de semillas, siendo los insectos como las abejas (<i>Apis mellifera</i>) quienes polinizan el fruto. Las aves y los murciélagos ayudan a la dispersión de semillas (Rúa, 2017).</p> <p>La tasa de crecimiento varia de manera considerable pues depende de dos factores como lo es la calidad del sitio y de la localidad, creando un incremento en el DAP (diámetro a la altura del pecho). En África la especie recibe 800 mm de precipitación anual los rendimientos de leña y altura son efectivos. Los árboles adultos alcanzan alturas de 7 a 30 m, producen aproximadamente de 30 a 50 kg de fruta y sus años de vida, pueden alcanzar los 200 años. (Parrota y Chaturvedi, 1994)</p>
ADAPTABILIDAD Y CLIMA	El Neem (<i>A. indica</i>) crece en cualquier parte, es una especie con alta capacidad de adaptarse ante un ecosistema. Resiste y

crece en suelos áridos, bosques secos tropicales, en Indonesia se encuentra en tierras bajas, pero también las plantas adultas toleran algunas heladas con la diferencia de que suelen ser más sensibles. Es tolerante a la sequía y por lo mismo es cultivada para evitar la erosión del suelo, requiere grandes cantidades de luz para realizar su ciclo de vida normal, pero es tolerante a la sombra (Rúa, 2017).

Con respecto al clima, *A. indica* posee una extensa adaptabilidad climática, su crecimiento se puede dar en regiones sub-húmedas y semiáridas, la temperatura anual, varía entre 21° y 32° C, puede prosperar en temperaturas mínimas y máximas extremas, de 0° a 49° C (Parrota y Chaturvedi, 1994). Sus temperaturas máximas medias son de 26°-38° C y las mínimas de 24° - 28° C. la zona ecológica a la que pertenece es tropical y sub-tropicales áridas como semiáridas con una precipitación de 450 – 1150 mm anualmente (Siddiqui, 1995), igualmente puede crecer en lugares donde solo hay 250 mm (Parrota y Chaturvedi, 1994) y en casos extremos como en el desierto de Thar en Pakistán solo 113 mm, se presentan de lluvia al año (Siddiqui, 1995).

<p>HÁBITAT Y SUELOS</p>	<p>CATEGORIA DEL HÁBITAT: Terrestre</p> <p>Hábitat Gestionado</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tierras cultivadas y agrícolas • Áreas que se encuentran perturbadas. <p>Hábitat Natural / Seminatural</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bosques naturales • Pastizales naturales <p>Fuente: (Rojas y Acevedo, 2014)</p> <p>Crece en variedad de suelos, bien sea arcillosos o arenosos, salinos o alcalinos. Preferiblemente en suelos profundos, que estén bien drenados, de igual manera con suelos secos y pedregosos (Tewari, 1992). Su adaptación se da muy bien en suelos con pH de 5,0 y 8,5 pero para un mejor crecimiento, se debe contemplar las variables como suelos profundos, con</p>
--------------------------------	--

	<p>porosidad y bien drenados, sin olvidar el pH de 6,0 a 6,5 C (Parrota y Chaturvedi, 1994).</p> <p>Este árbol mejora la fertilidad del suelo y su capacidad de retención de agua, debido a que neutraliza la acidez de los suelos (Rúa, 2017). Asimismo, por la calidad de la hojarasca y la descomposición foliar rápida (Parrota y Chaturvedi, 1994).</p>
<p>SUSCEPTIBILIDAD Y AGENTES ENEMIGOS</p>	<p>La mayoría de los daños que se presentan en los árboles de Neem (<i>A. indica</i>), son en edad joven, por insectos, aunque sea usado como repelente de los mismos. Algunos insectos como larvas (<i>lepidóptera</i>), generan un daño grave, la hormiga (<i>solenopsis</i>), un ácaro enófito, <i>cryptocephalus ovulum</i> (<i>coleóptera chrysomelidae</i>) entre otras, son defoliadores⁸, los cuales dañan los tallos leñosos de la planta (Parrota y Chaturvedi, 1994).</p> <p>También se encuentran los insectos chupadores, grupo de insectos que más hace uso de esta especie, pues lo usan como planta de huésped, se alimentan del follaje, ramas y tallos, provocando en el árbol una desecación en el tejido vegetal, consigo la muerte del tallo, las ramas y la mortalidad de los árboles (Parrota y Chaturvedi, 1994). Así mismo como en la variedad de árboles, se presentan patógenos fungales en el Neem, estos hongos ocasionan pudrición de las raíces (Sankaran, Florence & Sharma, 1988).</p>
IMPACTOS	
<p>AMBIENTAL</p>	<p>En algunos países como Brasil, Republica dominicana, Australia, entre otros, es considerado una especie invasora en los ecosistemas, por diferentes causas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desplaza, invade y erradica las especies arbóreas endémicas del ecosistema. • Al eliminar especies nativas del bosque o que no sean nativas, provoca un desequilibrio, pues algunos animales, se alimentan de aquellas especies, disminuyendo la población animal y hasta la biodiversidad. • Los extractos de Neem (<i>A. indica</i>) afectan a cierta fauna como peces, renacuajos y algunos insectos.

⁸ Defoliadores: Provocar la caída prematura de las hojas en alguna especie arbórea.



ECONOMICA	Aporta a la economía por medio de la agricultura, en la creación de productos para uso humano como cremas de belleza, aceites, en la vida alimentaria de algunos animales granjeros, productividad en medicina natural, en productos farmacéuticos y como bioinsecticida. Contiene y posee altos factores debido a sus diferentes propiedades, tanto en hojas, semillas, frutos, flores y corteza.
------------------	--

Fuente: Propia

En Girardot, Cundinamarca, el árbol de Neem (*A. indica*), es muy apetecido para siembra por los habitantes, primordialmente por la sombra que brinda, además de las características que presenta como lo es su rápido crecimiento y adaptabilidad, este municipio cuenta con una compatibilidad y similitud con diferentes características que se presentan en la tabla 4, como lo es su clima, la ciudad de las acacias presenta una variabilidad climática favorable para la especie arbórea, puesto que la temperatura se encuentra dentro del rango máximo (26°-38° C), presentando Girardot (27° - 38° C) y una altitud de 289 msnm (Parra, Martinez, & Jaramillo, 1970), que se puede observar en la tabla 1, las precipitaciones que presenta, aunque sobre pasan por poco el límite, son suficientes pues no presentan mayor dificultad sino beneficio. Bosque seco tropical es la zona de vida en donde está ubicado Girardot, los suelos que generalmente se presentan, son profundos, bien drenados y con capacidad para retener como suministrar nutrientes.

2.2.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ÁRBOL DE NEEM (*A. indica*)



Figura 7. Ventajas y desventajas del árbol de Neem. **Fuente:** Propia.

Como se puede observar en la Figura 7, el árbol de Neem (*A. indica*) posee distintas y primordiales ventajas y desventajas, dando importancia en su aprovechamiento a los diferentes campos, como el industrial, en la agricultura, en empresas farmacéuticas y de igual manera en intereses propios (la sombra que brinda). En las Figuras se nombraba, su abundante follaje, interpretando que puede tener un gran potencial a la hora de producir biochar por medio de la poda de los mismos.

A pesar de contar con múltiples ventajas, también tiene algunas desventajas, este árbol



compite con las especies endémicas presentes en el lugar donde se siembre o plante, al competir con ellas las domina hasta eliminarlas y así obtener todos los beneficios del hábitat. Al poseer un sistema radicular extenso y profundo, puede interrumpir en tuberías y en algunos casos levantar pavimento en las carreteras o en las calles.

Al presentar toxinas en sus frutos, son tóxicos y venenosos para algunos insectos, creando un desequilibrio en el ecosistema, pues cada animal presenta una importancia y como los insectos, estos son indicadores biológicos, mostrando con su presencia o ausencia el estado de una biota (Iannacone, y Alvariño, 2006). Los mamíferos como las aves, también son afectadas por los frutos, las hojas y el extracto, al consumirlas los afecta, y de igual manera al invadir otras especies, suprime el alimento de las mismas.

2.3. USOS DEL NEEM (*A. indica*)

2.3.1. USO COMO BIOINSECTICIDA

El bioinsecticida actúa como un regulador del crecimiento, al reducir la síntesis de las hormonas, en su fecundidad, los huevecillos son estériles. (Villamil, Naranjo, y Van Strahlen, 2012), estudiaron el efecto de un insecticida a base de Neem (*A. indica*), para erradicar la chinche de los pastos *Collaria scenica* (Stal), la dosis usada para esta plaga fue de 50 ppm y 250 ppm, teniendo efecto en el desarrollo como en la reproducción del insecto.

Tabla 5. Insectos que controla el insecticida.

INSECTO	DESCRIPCIÓN
COLEÓPTERA	Son las larvas de los escarabajos, el escarabajo que es la plaga del cultivo de papa. Los elimina provocando la muerte a quienes se alimentan de la planta y a quien no la consume, evita su crecimiento (Cruz, y del Ángel Sánchez, 2004)
DÍPTERA	Se encuentra la mosca de fruta, la mosca doméstica, de melón y zancudos, son susceptibles al Neem (<i>A. indica</i>). En el estudio realizado por Llanos (2018), analizaban la aplicación de aceite de Nim (<i>A. indica</i>) para identificar la repelencia de los zancudos en lechones (<i>Sus scrofa domestica</i> L.) y en los ensayos realizados, obtuvieron que este aceite al mezclarse con otros componentes botánicos, mejoraban la repelencia y al combinarlo con aceite de coco en concentraciones al 2 y 5%, la eficiencia era de 96,28%.
HOMÓPTERA	Los pulgones de cultivos de cítricos, del algodón y la caña de azúcar, presentando efectos a la hora de la alimentación provocando la muerte de las especies como la mosca blanca <i>Trialeurodes vaporariorum</i> (Aleyrodidae) West con concentraciones de 0,6 – 1 mg mL ⁻¹ y en las hembras, evita la ovoposición o los elimina antes de ovopositar (Muñiz, Ramos, Rodríguez y Ortega, 2016).
HYMENÓPTERA	Provoca que, en los estados inmaduros de los insectos, no se pueda generar crecimiento, ni desarrollo (Cruz, y del Ángel Sánchez, 2004)
LEPIDÓPTERA	En las larvas como la de gusano cogollero del maíz y la del tabaco, bloquea la alimentación y hace interrupción en el crecimiento de las mismas (Cruz, y del Ángel Sánchez, 2004)

Fuente: Propia

2.3.2. USO MEDICINAL



Figura 8. Características del uso farmacéutico. **Fuente:** Propia.

El uso farmacéutico del nim (*A. indica*), proviene desde hace años atrás, siendo considerado por los hindúes, como el árbol sagrado por los usos terapéuticos y medicinales, propiedades encontradas en cada parte de esta especie. Al conocerse distintos lugares de la india como el árbol de los mil usos, su empleo empezó a extenderse a otros continentes con los que la india tenía relaciones comerciales y culturales, con ello mismo evoluciono la importancia de hacer preparaciones multiherbales, que hasta el día de hoy han sido usadas y renovadas (Pijoan, 2004).



Figura 9. Beneficios según las partes del árbol milagroso. **Fuente:** Propia.

Como se puede observar en la Figura 9, esta especie arbórea tiene infinidad de usos para medicina naturista y farmacéutica, en la actualidad los científicos siguen estudiando las propiedades que presenta, puesto que, se ha comprobado su efectividad antiséptica, antiviral, antiinflamatorio, antihongos, antiúlceras y vermífugos⁹ (Pijoan, 2004).

⁹ Vermífugo: Mata o expulsa lombrices.

2.3.3. USO FORESTAL

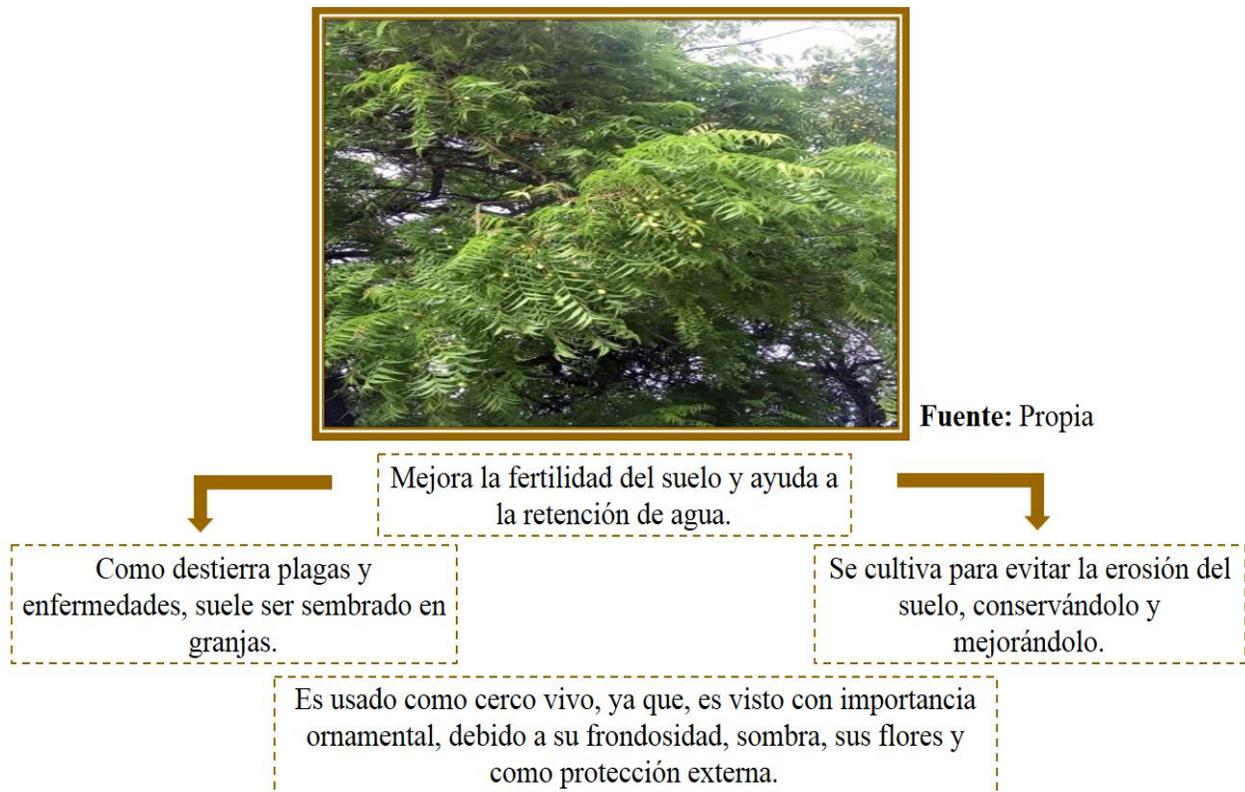


Figura 10. Importancia del uso forestal. **Elaborado por:** Propia. **Fuente:** (Rojas y Acevedo, 2014) y (Flórez, León, Osorio, y Restrepo, 2013).

El uso forestal de este árbol, es de tener precaución y cuidado, puesto que, al presentar importantes características, se debe tomar en cuenta una de sus desventajas, especie invasora (Figura 7), por eso en el presente trabajo se analiza el potencial del mismo, en vista que, los tallos y las hojas en su poda, sirven como abono orgánico, pero primordialmente es material para la producción de biochar.



Fuente:
Propia

Previene la propagación del desierto.

Su madera presenta una alta estabilidad a termitas y algunos hongos, por lo mismo se usa para fabricar cajas de empaque y almacenamiento.

Produce gran abundancia de hojarasca, lo que conlleva a tener un retorno de nutrientes cuando la hoja cae, este proceso conduce al incremento de materia orgánica y mejora la estabilidad del suelo.

Figura 11. Importancia del uso forestal. **Elaborado por:** Propia. **Fuente:** (Rojas y Acevedo, 2014) y (Flórez, León, Osorio y Restrepo, 2013).

2.3.4. USO INDUSTRIAL

En el tiempo que se ha estudiado el árbol de los mil usos, se ha descubierto en sus subproductos, la gran cantidad de productos industriales que se pueden obtener de ello, en la actualidad, se destaca de manera significativa, la implementación de este aceite, el jabón medicinal como el tradicional es uno de sus mayores empleos, también se encuentran los cosméticos como cremas para la cara, esmalte de uñas, aceite de uñas y champú, siendo este último efectivo contra los piojos y la caspa. Se considera en la india, uno de los productos con mayor ingreso, pues genera a las empresas como a los habitantes de este país, un gran porcentaje

de las mujeres que habitan en la zona rural, dependen de los oficios realizados, cultivar, sembrar, recolectar y procesar la semilla como los frutos. (Ogbuewu et al., 2011).

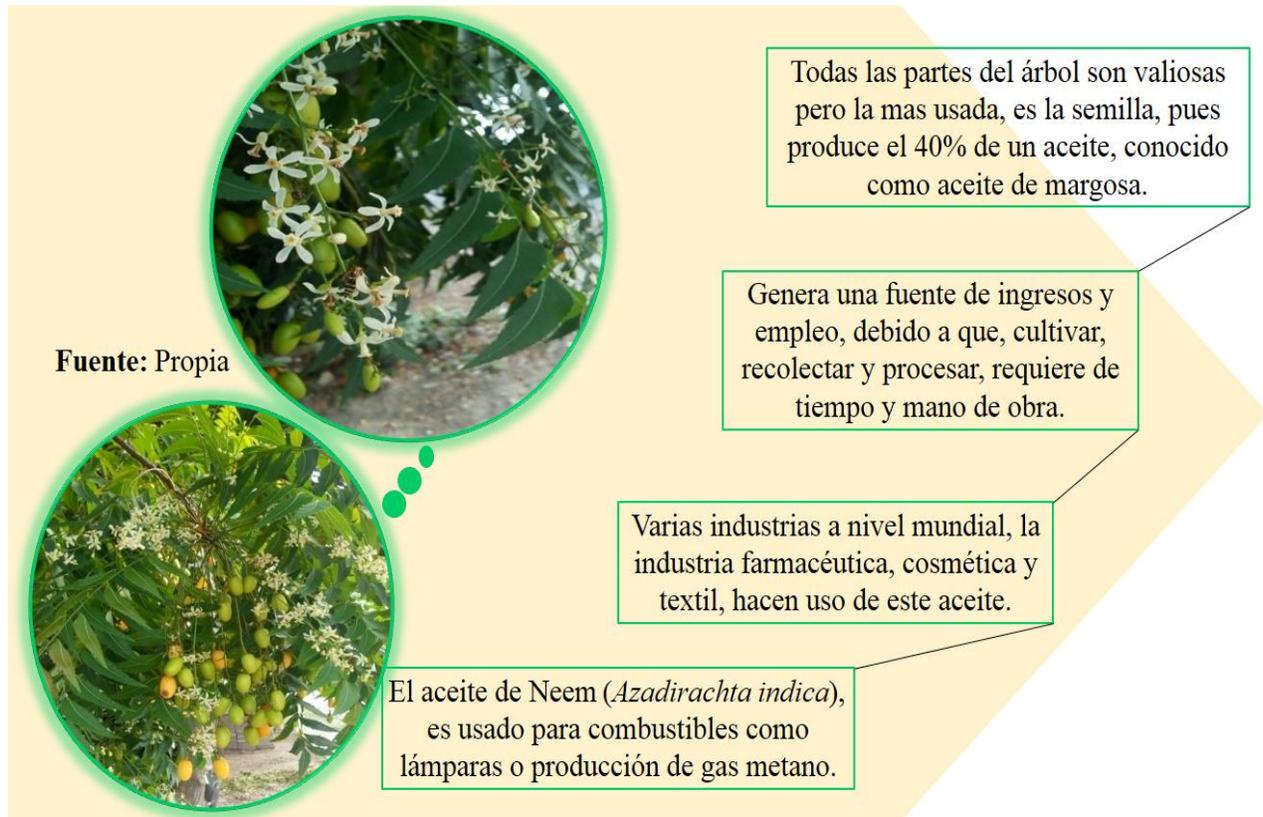


Figura 12. Implementación del Neem (*A. indica*), en el campo industrial. **Elaborado por:** Propia. **Fuente:** (Ogbuewu et al., 2011).



2.4. APROVECHAMIENTO DEL NEEM (*A. indica*) PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOCHAR

En la Figura 13, se puede observar la distribución que tiene el árbol de Neem (*A. indica*) en Girardot con respecto a las otras especies presentes, realizado en el programa Arcgis. En el mapa se puede analizar que, los puntos verdes corresponden al árbol estudiado y los puntos negros a las distintas especies, identificando que *A. indica*, cuenta con una alta cantidad de individuos, siendo más exactos 1330, determinados en el inventario forestal de Girardot. Al poseer una gran abundancia de esta especie, se puede realizar en mayor porcentaje su aprovechamiento para distintos usos, pero primordialmente, para disponer de material lignocelulósico y así elaborar biochar por medio de los residuos de poda, aportando a la ciudad y a la región del alto magdalena, ventajas de hacer un buen empleo de corta y poda de los árboles para la generación de productos amigables con el medio ambiente e incentivar a ejecutar estudios e investigaciones dando a entender la gran importancia de este material sólido en la actualidad y que cada vez más, cobra fuerza y potencial.

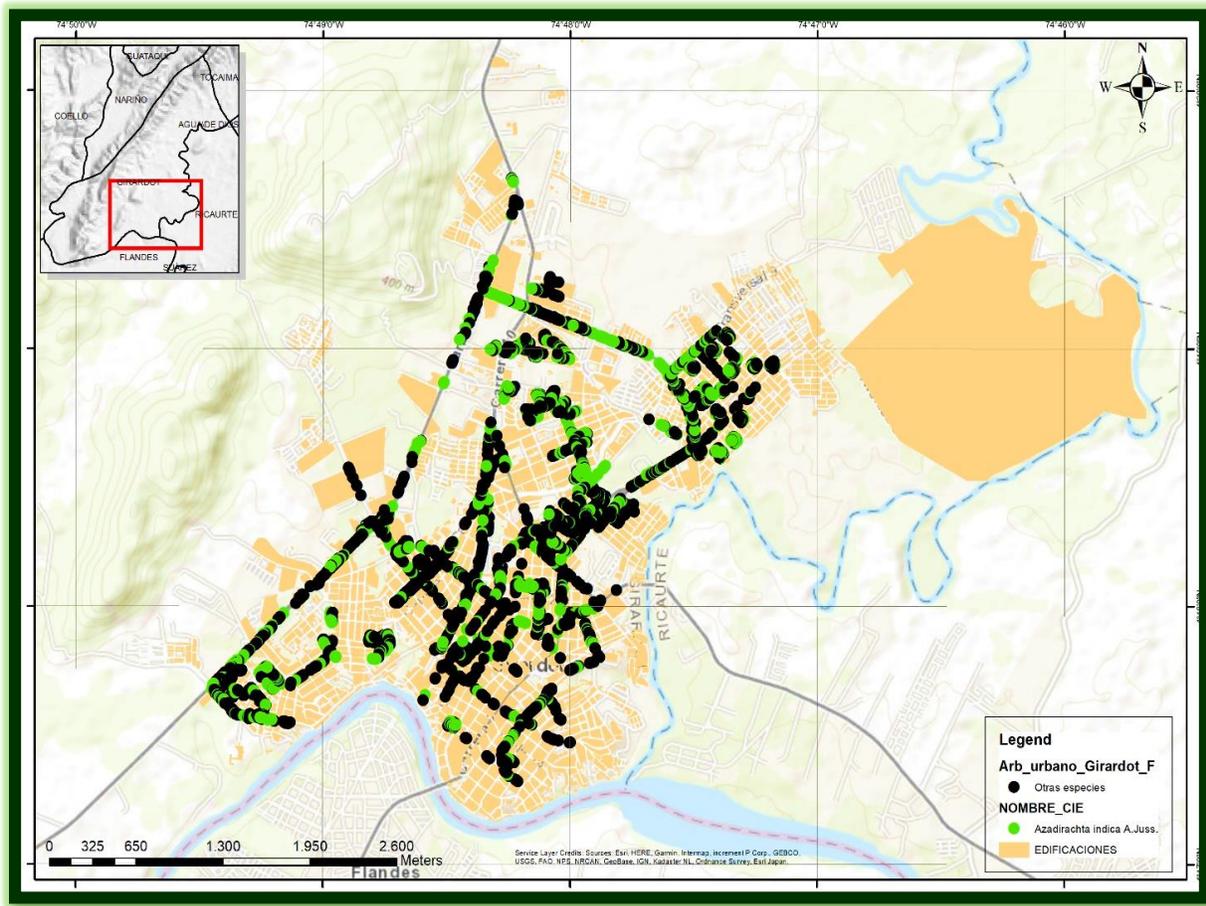


Figura 13. Mapa de la distribución geográfica del Neem (*A. indica*) en Girardot, Cundinamarca. **Elaboró:** propia.

2.5. POTENCIAL DEL ÁRBOL DE NEEM (*A. indica*) EN EL CASCO URBANO DE GIRARDOT.

Para hallar el potencial del árbol, se realizó una investigación de la literatura. Primero que todo, se debe conceptualizar para un mejor entendimiento, el potencial se obtuvo a partir de la biomasa, la cual, nos define el peso de materia orgánica existente en un determinado ecosistema,



tanto por encima como debajo del suelo. Cuando la biomasa, es cuantificada se tiene en cuenta el peso verde o seco, bien sea en toneladas por hectárea o en gramos por m² (Rodríguez, 2013).

Esta biomasa es generada por todo tipo de bosque, pero para este trabajo, el área de estudio es un bosque seco tropical y se considera que los bosques son sumideros de carbono, ya que, el CO₂ es transformado por la fotosíntesis en biomasa (Barón y Triana, 2017).

Para la medición y/o estimación de biomasa, hay dos métodos, están los directos y los indirectos. El primer método consiste en hacer una medición laboriosa por medio del apeo y la cubicación de los árboles y el segundo método es por medio del uso de ecuaciones alométricas, en donde se emplean variables dasométricas como el DAP (cm), la altura total (m) y la densidad de la madera (g/cm³) (Rodríguez, 2013).

El método directo es un trabajo complejo, el cual requiere de tiempo, además de ello sino se tienen en cuenta las muestras adecuadas, puede ser destructivo y su costo es elevado (Chou y Gutiérrez, 2012). Por eso al revisar referencias bibliográficas, se determinó como selección de las ecuaciones y de las variables con las que se cuenta, aplicar el método indirecto en la cuantificación de la biomasa.

1^{era} Ecuación

Por medio de los datos de DAP, se hallará el área basal definida como la superficie de una sección transversal del tallo del tronco del individuo, que se encuentra a una altura del suelo (Rangel y Velásquez, 1997).

$$\text{Área basal} = \frac{\pi}{4} * (DAP)^2 \text{ expresada en cm o m}^2$$



2^{da} Ecuación

Encontrar el volumen maderable.

La referencia que fue tomada es: Chaturvedi (1987), en el repositorio de la Universidad Nacional de Colombia, en una página llamada GlobAllomeTree, Evaluación de volumen, biomasa y reservas de carbono de árboles y bosques, en esta página se encuentra variabilidad de ecuaciones alométricas, al ingresar, se realiza una búsqueda con el nombre científico de la especie, en este caso (*A. indica*), por lo tanto, se identifica que ecuación es la más adecuada de acuerdo a los datos que se tienen, siendo la siguiente:

$$\text{Volumen} = 0.0069 + 0.031468 * (C)^2 * (H)$$

C: Circunferencia a la altura del pecho, fue hallada, multiplicando $\pi * DAP$, unidad en metros cuadrados.

H: altura total, unidad en metros.

3^{era} Ecuación

En esta ecuación se tiene visualizada, identificar la densidad de la madera de la especie, creándose incógnitas acerca de cuál densidad se tomará, la verde, básica o la seca. La densidad de la madera es un parámetro muy usado, debido a su sencillez y por ser un buen indicador de calidad, la densidad verde, es la que posee la madera en la planta viva, pero es más utilizada en los cálculos de transporte de troncos, cuando son transportados al sitio de elaboración, la básica es comúnmente empleada en los ámbitos forestales y es la relación entre el peso mínimo del material y el volumen verde, por último, está la seca, es la relación entre el peso y el volumen del



material exento de agua (Núñez, 2007). La densidad a tomar en cuenta, es la densidad básica, pues la verde, depende de varios factores y uno de ellos es la fisiología del árbol, con la densidad seca, se debe realizar un proceso para calcularla y es realizar un secado de 105-110°C y respaldando, la decisión, La densidad básica es la de mayor uso sobre todo en la industria celulósica, puesto que con el dato de ésta y calculando el volumen en el campo se puede obtener rápidamente el peso de madera (Spavento, Keil y Monteoliva, 2008), por consiguiente la densidad básica del Neem (*A. indica*) es de 0,66 g/cm³ y en Kg/m³, sería 660, según la FAO (2014).

4^{ta} Ecuación

Unión de la 2^{da} Y 3^{era} ecuación, siguiendo las unidades correctas.

$$\text{Biomasa} = \text{Volumen (m}^3\text{)} * \text{Densidad (Kg/m}^3\text{)}.$$

Estas fórmulas fueron aplicadas a los 1330 individuos presentes en el inventario forestal de Girardot y así se pudo calcular la biomasa, con el fin de analizar la densidad de esta especie, identificándolo por medio de Arcgis.

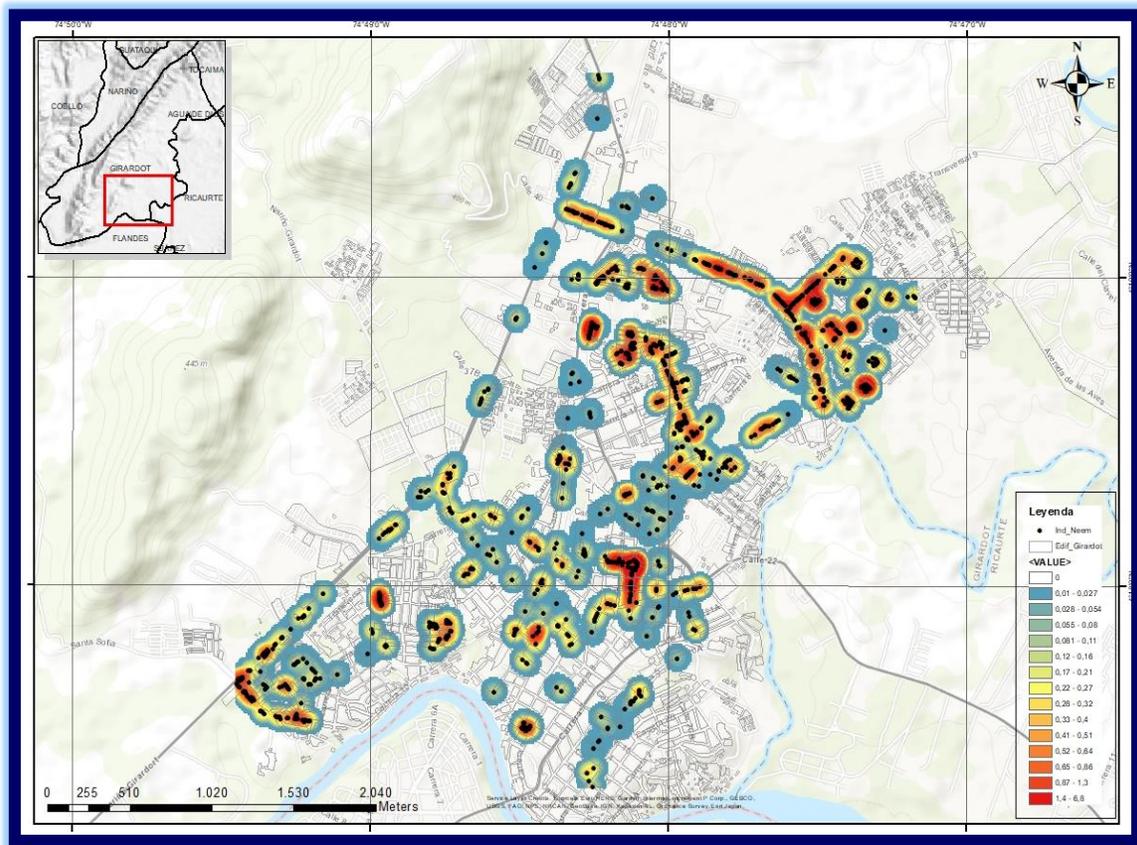


Figura 14. Mapa de densidades. **Elaboró:** propia.

El mapa de densidades, nos muestra la distribución espacial a través de la densidad de *kernel*, ayudando a generar superficies continuas de la densidad de conglomerados con datos de la especie de interés (Flores y Reyes, 2019). Se puede observar donde se encuentra la mayor concentración de esta especie y con ello, la mayor densidad y biomasa, las zonas con colores como el rojo y el naranja, son lugares donde se encuentra una mayor concentración del *Neem* (*A. indica*), evidenciando que, allí es donde hay mayor potencial de materia prima para la producción de biochar en el momento que realicen la actividad de poda y corte, pues poseen en su estructura, ser altos, anchos y tener las copas más grandes, el amarillo es la concentración



media, en donde, también se puede dar un aprovechamiento del mismo, ya que, aun sigue generando un potencial de biomasa.

De acuerdo a la distribución de los árboles, la zona norte de la ciudad, tiene mayor potencial de acuerdo a la biomasa y a su agrupación, analizado por medio del vecino más cercano, herramienta en Arcgis, el cual genera un reporte del agrupamiento de las especies de árboles, calculando la cercanía basada en distancias y como se puede visualizar en el mapa, los árboles se encuentran agrupados y no dispersos, haciendo referencia a un patrón de siembra.

El cálculo del vecino más cercano, puede ser realizado en el mismo programa. Allí nos muestra que, de acuerdo a los datos calculados, su distribución es de manera agrupada como se puede identificar en la gráfica (Figura 15).

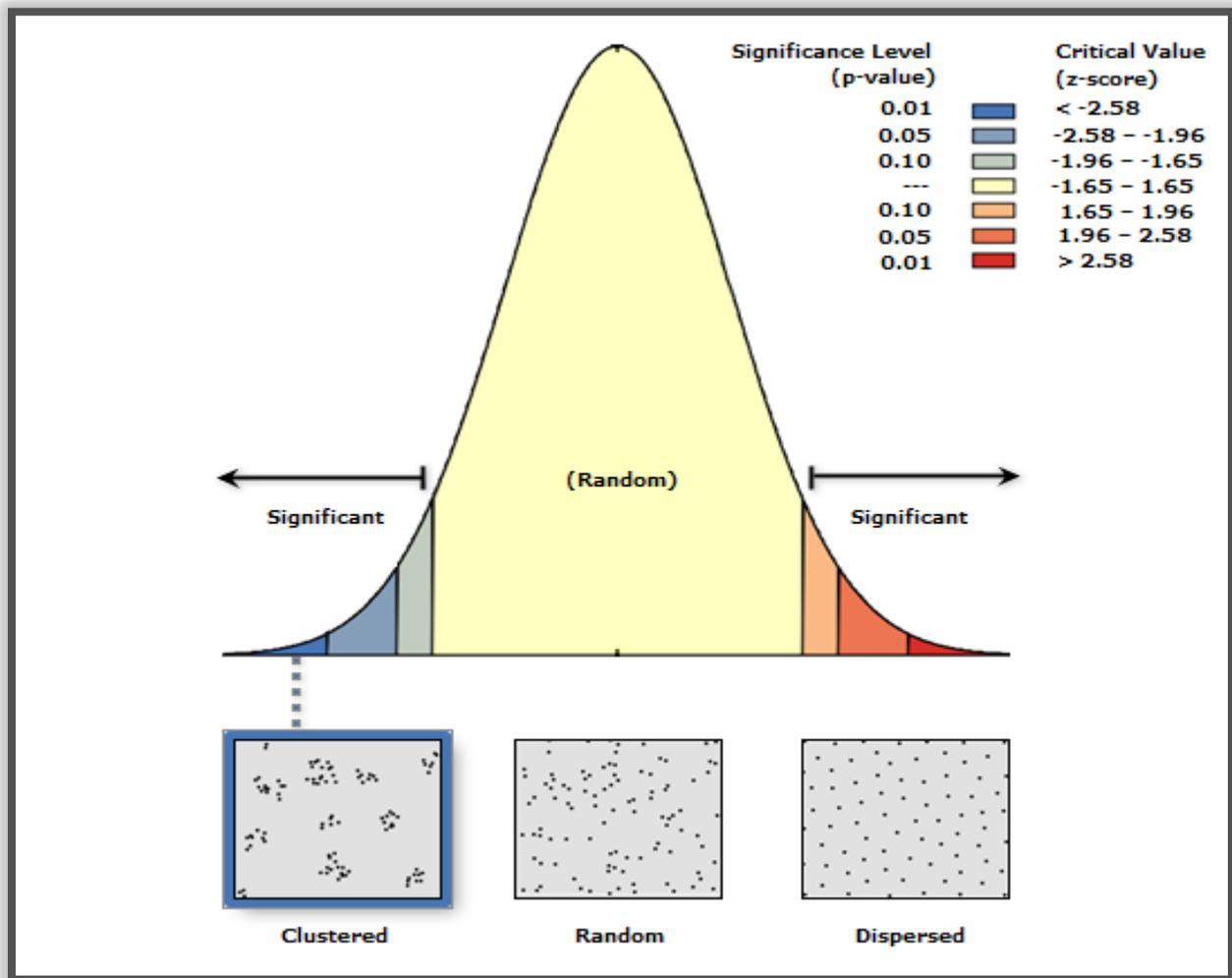


Figura 15. Distribución espacial de los árboles de Neem (*A. indica*). **Elaboró:** propia.

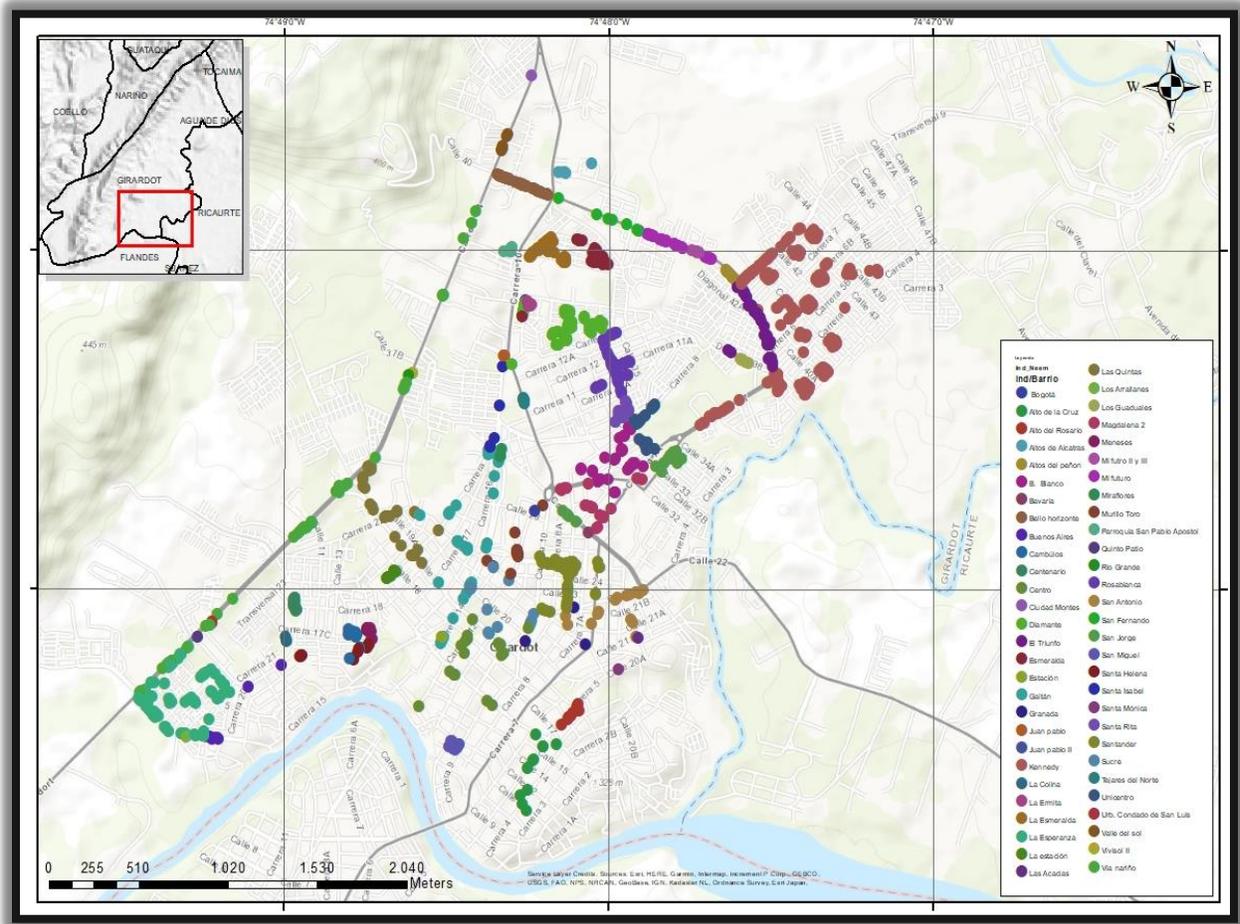


Figura 16: Distribución del Neem (*A. indica*) según los barrios de Girardot.

Elaboró: propia.

Se puede ubicar en el mapa, la distribución de esta especie arbórea, estando en el norte, una gran cantidad de ellos y determinando su color como las formas de identificación, se constata lo que decía en la figura anterior (15), la siembra de estos árboles, se encuentra de manera agrupada por sectores, en este caso por barrios.



CAPITULO 3.

3.1. CONTAMINACIÓN ACUIFERA.

El agua es la fuente de vida, de este planeta y de todo aquello que la habita. Desde el comienzo de la civilización, el agua ha sido la base del sustento para diferentes propósitos: como bebida, limpieza, riego para cultivos, para necesidades fisiológicas (duchas), entre otras (Hasan, Shahriar, & Jim, 2019). La calidad del agua ha sido uno de los temas que más ha cobrado importancia en los años, pues es una preocupación mundial, debido a que, los recursos hídricos deben ser protegidos para mantener su calidad.

La contaminación por las actividades humanas, es la primordial causa del deterioro acuífero, esta se encuentra definida como la introducción por el hombre en el ambiente acuático (mares, ríos, lagos) de elementos abióticos o bióticos que causen efectos dañinos o tóxicos, perjudicando, seres vivos que habiten allí y colocando en peligro la salud, humana (FAO, s.f.).

3.1.2. CONTAMINACIÓN A LAS AGUAS SUPERFICIALES.

Los compuestos emergentes como son nombrados aquellos compuestos de diferente origen y naturaleza química, son un potencia y amplio grupo de contaminante, que son introducidos en el ambiente a través de algunas fuentes como: Aguas residuales de tipo doméstico e industrial; Efluentes hospitalarios; Actividades agrícolas y ganaderas (Gil, Soto, Usma y Gutiérrez, 2012).

Tabla 6. Actividades e impactos por la contaminación.

ACTIVIDAD	IMPACTOS
PESTICIDAS	La contaminación por el movimiento de los pesticidas, termina en contaminar las aguas superficiales y la biota. Trayendo como consecuencia el daño a los sistemas ecológicos, pues genera perdida en los predadores, por la disminución de sus presas (alimento), afectando su crecimiento y en la salud pública, genera problemas por el consumo de estos peces contaminados.
PÉRDIDA DE ALIMENTOS Y CORRALES DE ANIMALES	Por medio de organismos patógenos (virus y bacterias) contenidos en la orina, heces y en la sangre el agua es contaminada, creando problemas crónicos en la salud humana por los metales contenidos en las granjas.
RIEGO Y DRENAJE	La escorrentía lleva a salinizar las aguas, debido a los pesticidas, fertilizantes y elementos químicos, ocasionando alteraciones ecológicas por presencia de selenio.
INDUSTRIAS	La contaminación de las aguas superficiales por la actividad industrial, es uno de los mayores problemas y a los cuales, se les debe hacer un seguimiento, pues las industrias de alimentos y bebidas, química y farmacéutica. descargan a los ríos, aguas contaminadas, generando problemas en algunos casos irreversibles.

Elaborado por: Propia, **Fuente:** (Escobar, 2002).

3.1.3. CONTAMINACIÓN A LAS AGUAS SUBTERRANEAS.

Una de las principales fuentes de abastecimiento de agua potable, son los acuíferos o estratos de suelos y rocas, la contaminación de aguas subterráneas no es fáciles de observar, ni medir, pero se conoce que es generada por diversos mecanismos de la naturaleza (física, química y biológica) pero también es por actividad antrópica (humanas). El deterioro de la calidad del agua y los requerimientos para el control de la contaminación, tienen relación directa con actividades productivas (Echeverri, 1998); representadas en la tabla 7, resaltando que en estas actividades los compuestos son de gran toxicidad, persistencia y movilidad (Hirata, 2002).

Tabla 7. Primordiales actividades que contaminan las aguas subterráneas.

ACTIVIDAD
Urbanización: Escapes en el Sistema de alcantarillado
Industrial: Fugas en tanques y tuberías; Derrames accidentales
Agrícola: Aplicación de pesticidas a cultivos; Cría de Ganado / proceso de cosechas
Basureros: Lixiviación

Fuente: (Hirata, 2002)

3.2. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS EN COLOMBIA Y EN LA REGIÓN DEL ALTO MAGDALENA.

3.2.1. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Colombia

Las aguas residuales pueden definirse como las aguas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en sus actividades y para tratarlas se usa una planta de tratamiento de aguas residuales. En Colombia, en 989 localidades en áreas con menos de 30.000 habitantes, el 78%, no tienen tratamiento alguno de las aguas residuales (Lizarazo y Orjuela, 2013) y para la cobertura de acueducto y alcantarillado, Cabrera (2013), nos informa que, de acuerdo a la recolección de estas aguas, es del 75% en acueducto y del 60% en alcantarillado.

Gran parte de los municipios del país deberían contar con plantas de tratamientos y así disminuir impactos con las fuentes de agua. Los entes territoriales deben evaluar en sus planes de desarrollo la viabilidad de incluir plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), en Colombia solo la tercera parte (336), hacen un diagnóstico en los PND (1008) y para los 672 municipios restantes, no incluyen el tema y de los 336, solo 84 (23%), poseen una planta en el área urbana (UNICEF-COLOMBIA, s.f.). Las cifras antes presentadas, generan una preocupación pues la mayoría de los municipios, vierten estas aguas a las fuentes hídricas más cercanas, generando un impacto ambiental que puede provocar un problema de salud en los habitantes.

Región del alto Magdalena

Tabla 8. Municipios que cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales en la región del alto magdalena.

ACTIVIDAD	AREA TRATADA		AREA NO TRATADA		OBSERVACIONES
	RURAL	URBANA	RURAL	URBANA	
AGUA DE DIOS	0%	30%	100%	70%	1. PTAR Las Granjas 2. PTAR Nueva Colombia
GIRARDOT		0%		100%	Cuenta con plantas



					pero en el sector privado; La clínica DUMIAN; Líquidos Carbónicos, Vereda Barzalosa, Talismán, El Peñón.
--	--	--	--	--	---

GUATAQUÍ	10% DEL TOTAL DEL ÁREA RURAL		10%	100%	POZO SÉPTICO SECTOR LAS ISLAS (en el área rural).
JERUSALÉN	NO				
NARIÑO	NO				
NILO	60%	100%	40%		<p>En el área urbana, están, PTAR NILO, PTAR PUEBLO NUEVO.</p> <p>En el área rural, CONDominio RIVER SIDE, PACOLI.</p> <p>En el parque recreativo y zoológico piscilago cuentan con una planta de tratamiento de aguas</p>

					residuales, con una eficiencia en la remoción del 98% de contaminantes.
RICAURTE	0%	43%	0%	57%	PTAR 1 VILLA DIANA CAROLINA, PTAR 2 VILLA CAROLINA, PTAR EL PESEBRE TRATAMIENTO PRIMARIO
TOCAIMA	PUBENZA: 80% SAN CARLOS: 95% LA SALADA:	0%	PUBENZA: 20% SAN CARLOS: 5% LA SALADA:	100%	Área urbana: - SI - SUSPIRO 1 -SI - SUSPIRO 2 -SI - CAMELLÓN DEL RÍO



	95%		5%		Área rural: En Pubenza, San Carlos y La Salada
--	-----	--	----	--	---

Fuente: (Guzmán et al., 2017)

3.2.2. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS POTABLE.

Colombia

La constitución política de Colombia, establece como un derecho fundamental, el acceso al servicio de agua potable, por eso mismo, es importante que cada municipio cuente con una planta de agua potable (PTAP), definida como un conjunto de estructuras y sistemas de ingeniería en las que se trata el agua de manera que se vuelva apta para el consumo humano (Guzmán et al., 2017).

En los planes de desarrollo municipales, se encontró que el 63%, reseñan poseer PTAP en la zona urbana y el 37%, no hay, para la zona rural, el 39% contemplan esto. Dentro de los municipios que informan en los planes de desarrollo, el 70% (455 municipios) de ellos, tienen planta de tratamiento y el 30%, no, en el área urbana y en lo rural, el 20% (80) poseen y el otro 80%, no cuenta (UNICEF-COLOMBIA,s.f).

Región del alto magdalena.

Tabla 9. Empresas prestadoras del servicio público en la potabilización de las aguas.

MUNICIPIO	EMPRESA
AGUA DE DIOS	INGEAGUA S.A.S E.S.P
GIRARDOT	AGUAS DE GIRARDOT, RICAURTE Y LA REGIÓN ACUAGYR S.A. E.S.P.
GUATAQUÍ	MUNICIPIO
JERUSALÉN	ALCALDÍA MUNICIPAL DE JERUSALÉN
NARIÑO	FONDO DE SERVICIOS PÚBLICOS
NILO	EMPRESAS PUBLICAS DE NILO EMPUNILO S.A.S E.S.P.
RICAURTE	ACUAGYR S.A.S. E.S.P.
TOCAIMA	TOCAGUA SA E.S.P

Fuente: (Guzmán et al., 2017)

Observando las tablas 8 y 9, la situación en algunos tratamientos de aguas, es un poco baja y las consecuencias que contrae no poseer con buenos tratamientos, pueden ser graves tanto en el ambiente como en salud humana, se puede analizar la posibilidad de implementar el biochar para descontaminar estas aguas, viendo de manera viable un gran aporte el uso de este material.

3.3. USO DEL BIOCHAR PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Los contaminantes de industrias como de hogares (domésticos), trae consigo, toda clase de contaminantes, pero los más preocupantes, son aquellos peligrosos, pues representan una mayor amenaza para los ecosistemas y el ser humano, debido a que son más tóxicos y complejos. El biochar es uno de los productos con ventajas por ser eco-amigable, seguro, de bajo costo y con alta capacidad de adsorción, ya que, al presentar moléculas aromáticas, estas facilitan y mejoran la adsorción. También, se encuentran sus grupos funcionales, pues su contenido de minerales, ayudan a eliminar contaminantes (ver tabla 10) (Yaashikaa et al., 2019).

Tabla 10. Adsorción de contaminantes según la materia prima y su pirólisis.

MATERIA PRIMA	PIROLISIS	CONTAMINANTE
Madera de Pino	600°C	As (v)
Cascara de arroz	300°C	Cr (VI)
Corteza de roble	450°C	Pb (II)
Bagazo	450°C	Cr (VI)

Caña de azúcar	550°C	Fosfato
Maíz	550°C	Fosfato

Fuente: (Yaashikaa et al., 2019).

El biochar ha cobrado importancia en el potencial de descontaminar aguas residuales, aunque ha sido poco estudiado, los estudios realizados, han demostrado que este material sólido, tiene la capacidad de remediar contaminantes que salen de sectores industriales, agrícolas y municipales.

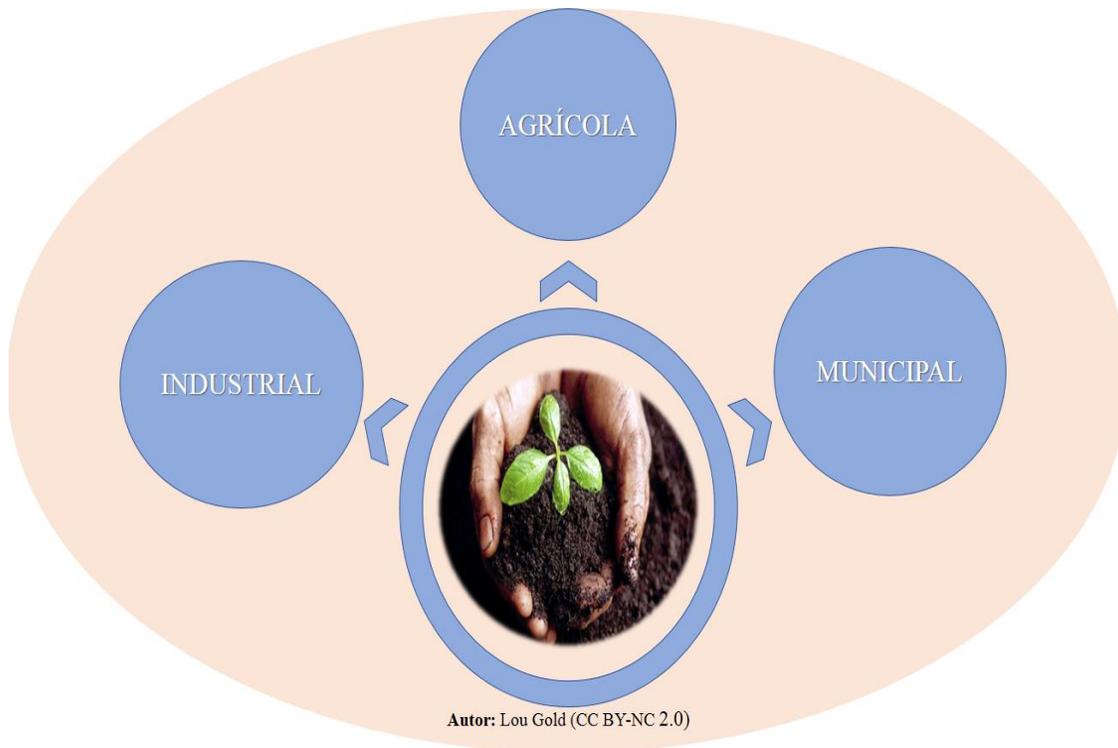


Figura 17. Eliminación de contaminantes por biochar según el sector. **Fuente:** propia



Se tomó en cuenta tres sectores primordiales que proporcionan una gran carga de contaminantes a las aguas, el primer sector es el industrial, aquí el biochar puede ser usado para remover y adsorber metales pesados de las aguas residuales industriales, de manera en que el biochar al tener cargas positivas, atrae las cargas negativas del metal y por medio de las fuerzas electromagnéticas, reduce el metal, teniendo también los grupos funcionales como la porosidad y el área superficial que ayuda a retener y eliminar (Yaashikaa et al., 2019). Al usar biochar de bagazo, este adsorbe el plomo de los efluentes de las industrias de baterías, en lo cual influyo la relación en la capacidad del pH, el tiempo de contacto y la dosis (Xiang et al., 2020). El segundo sector es el municipal, el biochar para este sector puede usarse directamente o por medio de un biofiltro, para recuperar nitrógeno y fósforo (Cole et al., 2017). La adsorción del fósforo, se da principalmente por la atracción electrostática. Las aguas residuales municipales, pueden tratar con biochar pues su alta superficie porosa permite actuar como un biofiltro en estas aguas (Xiang et al., 2020). Y, por último, en el tercer sector, está la agricultura, la contaminación agrícola, se está volviendo cada vez más alarmante, puesto que, la aplicación de plaguicidas, contamina de manera amplia el recurso hídrico. La atrazina es el contaminante más común en la agricultura y para aportar a su descontaminación, se usó la paja de arroz, su capacidad de adsorber, es gracias al volumen de los poros, al valor del pH y al nano material de las estructuras porosas (Zhao et al., 2013).

3.3.1. APLICACIÓN DEL BIOCHAR PARA UNA PLANTA DE AGUA POTABLE.

El agua tal como se presenta en la naturaleza, contiene una mayor o menor cantidad de impurezas como solidos suspendidos, microorganismos, bacterias y virus, para que el agua sea potable, esta debe encontrarse libre de patógenos, sustancia toxicas y de un exceso de minerales y materia orgánica, debe ser agradable al tacto humano, por lo tanto, no debe contener olor, sabor, ni color, se presenta al biochar como una alternativa en las plantas de tratamiento de agua potable, en el proceso de filtración, este proceso realiza la remoción de partículas suspendidas y coloidales mediante el paso del agua a través de un medio poroso , en este caso, filtros de biochar.

CARBÓN ACTIVADO Y BIOCHAR

Tabla 11. Características físicas-químicas del carbón activado y el biochar.

CARACTERISTICAS	BIOCHAR	CARBÓN ACTIVADO	DESCRIPCIÓN
USO Y APLICACIÓN	Es más usado para los suelos por medio de fertilizante y está tomando fuerza en el tratamiento de aguas.	Es aplicado en tratamiento de aguas, eliminación de materia orgánica y sustancias tóxicas en gases.	El carbón activado se emplea como combustible y energía, en descontaminar aguas residuales y potables, el biochar va encaminado a la agricultura, el manejo ambiental y secuestro de carbono.
SIMILITUD	Aportan al tratamiento de aguas como la eliminación de contaminantes en el recurso hídrico.		
pH	8.12	11.25	El pH, depende del tipo de materia prima y la temperatura. Cuando son producidos a la misma

			temperatura, las materias primas no leñosas (estiércol, rastrojos, alga), tienden a ser más altos los pH que el material de madera (Enders et al, 2012).
CIC (intercambio catiónico, en cmolc kg^{-1}).	20.80	8.80	Esta impulsada por un área superficial específica y la presencia de grupos carboxilo de superficie (Cheng et al, 2006).
MATERIA VOLÁTIL (%)	43.00	36.00	La materia volátil y el carbono total, son inversamente proporcional a mayor temperatura, la materia volátil disminuye y aumenta el carbono total.
CARBONO TOTAL (%)	43.00	47.00	

Fuente: (Balta, 2019).

El biochar puede tardar años en descomponerse, pues esto es debido a su estructura aromática policíclica, dificulta la descomposición biológica y la oxidación química, dando como ventaja, su persistencia en el medio ambiente (Glaser et al, 2000).

En el estudio realizado por Balta, 2019, las temperaturas usadas para la producción de biochar y carbón activado, fueron distintas, para el primer producto, fue de 350°C y para el segundo de 800°C . Se pudo observar en los análisis realizados, la compleja y heterogénea composición física y química del biochar, le brinda y proporciona una plataforma excelente y así poder eliminar contaminantes.

3.3.2. APLICACION DEL BIOCHAR PARA AGUAS SUBTERRANEAS.

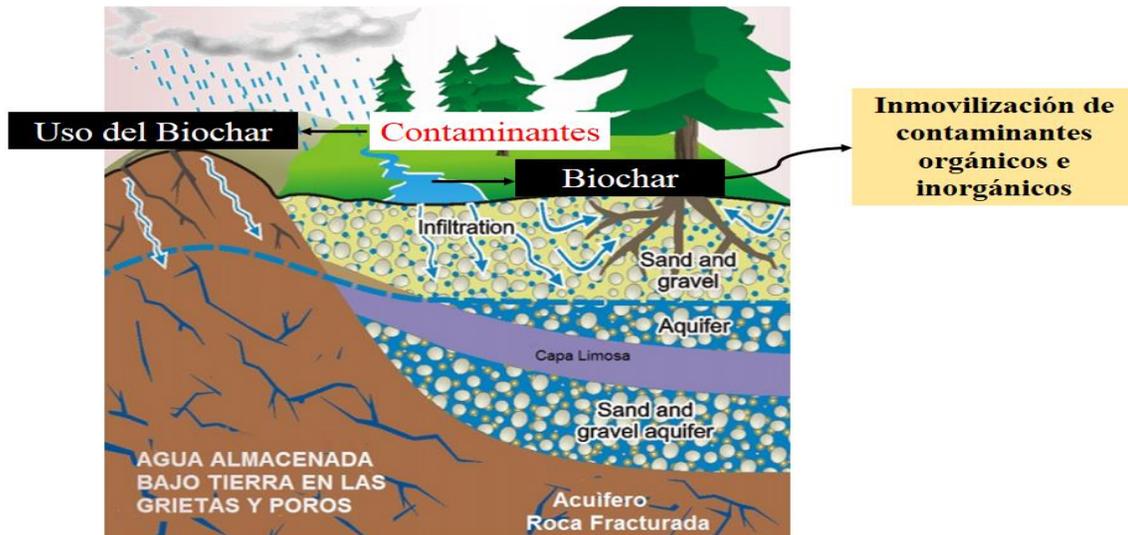


Figura 18. Uso del biochar en aguas subterráneas. **Fuente:** Propia.

Como se había dicho anteriormente en uno de los subcapítulos, el agua subterránea, también conlleva las causas de las actividades humanas, aunque resten un poco de importancia a esta situación, es importante también tratarlas como evitar que se siga propagando la contaminación. Una de las maneras que posee unos buenos resultados, es la aplicación del biochar en los suelos de los cultivos, al aplicar este material en cultivos, genera varios beneficios y no solo impide el paso de las sustancias tóxicas, sino que también influye en la mejora de los suelos como de los cultivos y por consiguiente en la producción y en los productos.

CONCLUSIONES

- ❖ Se estudiaron las técnicas que se requieren para la producción de biochar, identificando la pirólisis lenta y rápida como proceso térmico usado en la producción, en cada uno se manejan unas temperaturas y tiempos de retención, estableciendo que, las dos pueden ser usadas, pero depende del material lignocelulósico. El proceso más frecuentado, es el lento, según la literatura, es esencial para producir material sólido.
- ❖ Por medio de una revisión bibliográfica, se puede afirmar que, el Neem (*A. indica*) como materia prima para producir biochar, es una buena fuente, pues según los análisis realizados en Arcgis, presenta una gran cantidad de densidad y con ello de biomasa en Girardot, Cundinamarca, al presentar estas características, es de valor hacer uso de los residuos de poda y corte que se realicen en la ciudad y así realizar la implementación de biochar en el tratamiento de aguas, ya que, se pudo definir su gran potencial en ello.
- ❖ El Neem (*A. indica*), con el tiempo se ha considerado el árbol milagroso por diferentes razones, en la industria, en la medicina, en la agricultura (bioinsecticida), entre otros, que se han descrito en el documento, pero con este nuevo uso como biomasa para la producción de biochar y aplicación en el tratamiento de aguas, ha sido un estudio y hallazgo importante en el tema ambiental, son diferentes campos a solucionar como hacer buen uso de residuos urbanos (corte y poda de árboles), creación de nuevas técnicas amigables con el medio ambiente (biochar), investigación en diferentes temas a conocer (diferentes productos o subproductos en la pirólisis) y su empleo en el tratamiento de aguas (importante en la región, ya que su deficiencia en plantas de tratamiento)



RECOMENDACIONES

Es un tema que abarca muchas bondades, tiene fuerza en estos tiempos donde la contaminación del medio ambiente prácticamente es una constante, las investigaciones científicas han demostrado el potencial que presenta el biochar para retener contaminantes en el recurso suelo y en diversos tratamientos del recurso agua. Por ejemplo, China es un país que produce miles de toneladas de biochar para intentar alcanzar un equilibrio sostenible, es decir, valoriza los residuos lignocelulósicos y los introduce nuevamente a la cadena para la solución de problemas ambientales.

Colombia tiene potencial para la producción de biochar, pues, tiene virtud de contar con grandes especies de flora, teniendo en cuenta que no es acelerar, ni mucho menos incentivar a tala indiscriminada, es realizar un buen uso de los residuos orgánicos, en cada Municipio, Ciudad, Pueblo o Vereda, que realizan corte y poda de árboles, estos en vez de ser desechados como basura o en algunos casos quemado y contaminar, se deberían reutilizar para la creación de nuevos productos, siendo un gran ejemplo el biochar. Material que puede ser usado para la descontaminación de aguas, mejorar el saneamiento y con ello, evitar enfermedades, consecuencia de no contar con plantas de tratamiento para agua potable y residual, ya que en la mayoría de los casos presentan un elevado costo o algunas comunidades rurales no cuentan con este tipo de infraestructura. Es por ello, que la valorización de los residuos es una alternativa que contribuye a la sostenibilidad de la región, en este en el uso de materiales adsorbentes para el desarrollo de filtros en sistemas aptos para mejorar la calidad del agua.



BIBLIOGRAFIA

- Abenza, D. (2012). *Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta* (tesis de pregrado). Universidad Autónoma de Barcelona, Cerdanyola del Vallès, España.
- Álvarez-Castillo, A., García-Hernández, E., Domínguez-Domínguez, M. M., Granandos-Baeza, J., Aguirre-Cruz, A., & Morales-Cepeda, A. (2012). Aprovechamiento integral de los materiales lignocelulósicos. *Revista Iberoamericana de polímeros*, 13(4), 140-150.
- Arteaga, J., Arenas, E., López, David., Sánchez, C., y Zapata, Z. (2012). Obtención de biocombustibles producto de la pirolisis rápida de residuos de palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. Vol 10 (2), 144 – 151.
- Balta, C. (2019). *El carbón activado y el biocarbón en la asimilación del cadmio por el tomate (Solanum lycopersicum L.) bajo el invernadero* (Tesis de Maestría en suelos). Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 56 p.
- Barón, M. y Triana, M. (2017). Estimación de la Biomasa y Carbono Almacenado en la Cobertura Arbórea de la Región del Carare - Opón (Santander). *INGE CUC*, 13 (2), 84-94.
- Barroso, M. (2010). *Pretratamiento De Biomasa Celulosica Para La Obtención De Etanol En El Marco De Una Biorrefineria*. Universidad politécnica de madrid.
- Batista, G. (2007). Síntese e caracterização de nanocompósitos de TiO₂/celulose. [FIGURA 3]. Recuperado de: https://www.researchgate.net/figure/Schematic-representation-of-cellulose-chains-from-plant-cell-walls-Adapted-from_fig6_224468438.



Carmona, A. (2019). El negro es el nuevo verde. [FIGURA 1]. Recuperado de:

<http://www.ciceana.org.mx/web/contenido.php?cont=406>

Castro, C. (2018). *Evaluación del proceso de pirólisis aplicado al material lignocelulósico residual proveniente del pino patula en atmosfera de dióxido de carbono* (Tesis de pregrado). Universidad Libre de Colombia, Bogotá, Colombia.

Castro, C. (2018). *Evaluación del proceso de pirólisis aplicado al material lignocelulósico residual proveniente del pino patula en atmosfera de dióxido de carbono* (Tesis de pregrado). [FIGURA 6]. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10901/11025>

Centro mundial de agroforestería (2002), citado en Rúa, M. Ficha técnica de Azadirachta Indica. En: Catálogo de Arbóreas. Herbario de Cultura Empresarial Ganadera (CEG) Internacional. Febrero de 2017, Colombia.

Chan, K., & Xu, Z. H. (2009). Biochar: Nutrient Properties and Their Enhancement. En *Biochar for Environmental Management: Science and Technology* (1.ª ed., pp. 67–84.). Sterling, VA, Londres: Earthscan.

Chaturvedi, A.N. (1987). Metodología para el estudio de la producción de leña de tierras no forestales en las aldeas Berka Alimuddin y Dhanawas. Recuperado de: <http://www.globallometree.org/data/allometric-equations/39582/>

Cheng, C.H.; Lehmann, J.; Thies, J.E.; Burton, S.D. and Engelhard, M.H. 2006. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. *Organic Geochemistry*, 37, 1477–1488.



Chen, G., Wang, C., Tian, J., Liu, J., Ma, Q., Liu, B., & Li, X. (2020). Journal of Water Process Engineering Investigation on cadmium ions removal from water by different raw materials derived biochars. *Journal of Water Process Engineering*, 35(March), 101223. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101223>.

Chou, S.W., y Gutiérrez-E, E. Ecuación para estimar la biomasa arbórea en los bosques tropicales de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*. 26 (2). 41-54.

Cole, A.J., Paul, N.A., De, R.N., Roberts, D.A. (2017). Good for sewage treatment and good for agriculture: algal based compost and biochar. *J. Environ. Manag.* 200, 105.

Cortes, W. (2011). Materiales Lignocelulosicos Como Fuente De Biocombustibles Y Productos Químicos. *Ciencia Y Tecnología Aeronáutica*, 16, 43–44.

Cruz, H. (2020). Mapa del área de estudio, Girardot. [FIGURA2]. Recuperado de: <https://www.igac.gov.co/>

Cruz Fernández, M., & Del Ángel-Sánchez, R. (2004). El árbol de nim. Establecimiento y aprovechamiento en la huasteca potosina. Folleto Técnico, 3.

Downie, A. (2011). Biocharproduction and use: Environmentalrisks and rewards. (Tesis doctoral para examen). Escuela de ciencias e ingeniería. La universidad de nueva gales del sur. Sidney, Australia.

Cueto, M. (2016). *Potencial de producción de biochar en España a partir de residuos de la industria papelera, de lodos de E.D.A.R., de residuos sólidos urbanos y de residuos ganaderos:*



Estudio de la fijación de carbono (tesis doctoral). Escuela técnica superior de ingenieros agrónomos, Madrid, España.

Demirbaş, A. (2000). Mechanisms of liquefaction and pyrolysis reactions of biomass. *Energy Conversion and Management*, 41(6), 633–646.

Downie, A., Munroe, P. y Crosky, A. (2009). Chapter 2: Characteristics of biochar - Physical and structural properties. In: J. Lehmann & S. Joseph (Eds.), *Biochar for Environmental Management: Science and technology*. Earthscan. pg. 13-29. ISBN.

Durán, E. (2017). Arcillas y biochars para la eliminación de contaminantes de origen agrícola en aguas: ensayo en filtro a escala precomercial (tesis doctoral). Universidad de Sevilla, Sevilla, España.

Echeverri, G. (1998). Aspectos teóricos sobre el fenómeno de contaminación de aguas subterráneas. *Revista Universidad EAFIT*, 34(111), 61-75. Recuperado de: <file:///C:/Users/USER/Downloads/Aspectos%20teorico%20contaminacion%20de%20aguas%20subterranas.pdf>.

Emojipedia, (2019), *WhatsApp y el real significado del emoji del fuego que no es incendio*. [FIGURA 5, imagen b]. Recuperado de: <https://laprensa.peru.com/tecnologia-ciencia/noticia-whatsapp-viral-conoce-real-significado-fuego-incendio-fire-emoticon-emojipedia-aplicaciones-apps-wasap-nnda-nnrt-94162>

Enders, A.; Hanley, K.; Whitman, T.; Joseph, S.; and Lehmann, J. 2012. Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. *Bioresource Technology*,



114, 644–653.

Escalante, A., Pérez, G., Hidalgo, C., López, J., Campo, J., Valtierra, E., ... Etchevers, J. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo Biocarbon (biochar) I: Nature, history, manufacture and use in soil. *Terra Latinoamericana*, 34, 367–382. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00367.pdf>

Escobar, J. (2002). La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar (N° 50). Recuperado de: <https://archivo.cepal.org/pdfs/Waterguide/LCL1799S.PDF>.

Flórez, C., León, J., Osorio, N., y Restrepo, M. (2013). Dinámica de nutrientes en plantaciones forestales de *Azadirachta indica* (Meliaceae) establecidas para restauración de tierras degradadas en Colombia. *Rev. Biol. Trop.*, 61 (2), 515-529.

Flores, J., y Reyes, O. (2019). Distribución espacial de *Pinus oocarpa* schiede ex schldl. Mediante la estimación de la densidad de *kernel*. *Revista Mexicana de ciencias forestales*, 10 (53), 21 – 40. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v10i53.406>.

Gaitan, Y., & Ocampo, V. (2016). *Análisis de las variables climatológicas temperatura, humedad relativa, precipitación, evaporacion, brillo solar, radiación, velocidad y direccion del viento, medidas por la estación meteorológica “argelia” entre los años 1993 – 2013 para verificar la var.* Universidad de Cundinamarca.

Gil, M., Soto, A., Usma, J., y Gutiérrez, O. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción + Limpia*, 7 (2), 52-73.



Giraldo, O. (2012). *Conversión de biomasa recalcitrante originada en la producción de etanol a partir de la planta de banano y su fruto en combustibles mediante procesos de pirólisis* (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

Giraldo, O. (2012). *Conversión de biomasa recalcitrante originada en la producción de etanol a partir de la planta de banano y su fruto en combustibles mediante procesos de pirólisis* (Tesis de Maestría). [FIGURA 6]. Recuperado de: <http://bdigital.unal.edu.co/8324/1/15355687.2012.pdf>

Glaser, B.; Balashov, E.; Haumaier, L.; Guggenberger, G. and Zech, W. 2000. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. *Organic Geochemistry*, 31, 669–678.

Grabowska, B. (2010). Biopolimers – structure , properties and applicability in the foundry industry. *Archives of Foundry Engineering*, 8(1), 51–54.

Göransson, K., Söderlind, U., He, J., & Zhang, W. (2011). Review of syngas production via biomass DFBGs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(1), 482–492. doi:10.1016/j.rser.2010.09.032

Guzmán, S., Martínez, J., Nader, J., y Guarín, G. (2017). Investigación PTAP y PTAR en la región del alto magdalena. Manuscrito inédito, Facultad de ingeniería Civil, Corporación Universitaria Minuto de Dios, Sede Girardot, Colombia.

Hasan, M. K., Shahriar, A., & Jim, K. U. (2019). Water pollution in Bangladesh and its impact on public health. *Heliyon*, 5(8), e02145. Doi: 10.1016/j.heliyon. 2019.e02145.

Hirata, R. (2002). Carga contaminante y peligros a las aguas subterráneas. *Revista Latinoamericana de Hidrogeología*, (2), 81-90.



Iannacone, J., & Alvarino, L. (2006). Diversidad de la artropofauna terrestre en la Reserva Nacional de Junín, Perú. *Ecología aplicada*, 5(1-2), 171-174.

Iglesias, S. (2018). Aplicación de biochar a partir de biomasa residual de eucalipto para evaluar la productividad con maíz en el austro ecuatoriano (tesis doctoral). Universidad nacional agraria la molina. Lima, Perú.

Jianlong, Wang y Wang, Shizong, Preparación, modificación y ambiental aplicación de biochar: una revisión, *Journal of Cleaner Production* (2019), doi: 10.1016 / j.jclepro.2019.04.282.

Kuzyakov, Y., Subbotina, I., Chen, H., Bogomolova, I., & Xu, X. (2009). Soil Biology & Biochemistry Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial biomass estimated by ¹⁴C labeling. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(2), 210–219.
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.10.016>.

Lehmann, J. (2007). Bio-Energy in the Black. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(7), 381–387.

Lehmann, J., & Joseph, S. (2009). *Biochar for Environmental Management. Biochar for Environmental Management*. Sterling, VA, Londres.

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>

Lizarazo, J. y Orjuela, M. (2013). Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia. Bogotá.

López, F., Alfaro, ;, Caparrós, A. ;, García, S. ;, Pérez, M. M. , & Garrote, A. ; (2008). Aprovechamiento energético e integrado por fraccionamiento de biomasa lignocelulósica



forestal y agroindustrial. Caracterización de hemicelulosas, celulosas y otros productos del fraccionamiento. *Boletín Del CIDEU*, 5, 7–19.

Lou Gold (CC BY-NC 2.0), *Biochar, el carbón que no se quema*. [FIGURA 23]. Recuperado de:

<http://blog.creaf.cat/es/noticias/biochar-el-carbon-que-no-se-quema/>

Llanos, A. (2018). *Efecto repelente del extracto oleoso del Neem (Azadirachta indica a. juss.) contra zancudos en lechones (Sus scrofa domestica L.) EN TUMBES* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Tumbes, Tumbes, Perú.

Mukherjee, A., Zimmerman, A. R., & Harris, W. (2011). Surface chemistry variations among a series of laboratory-produced biochars. *Geoderma*, 163(3-4), 247-255. doi:10.1016/j.geoderma.2011.04.021.

Muñiz, E., Ramos, C., Rodríguez, C., y Ortega, L. (2016). Actividad biológica de nim en adultos de mosca blanca *Trialeurodes vaporariorum* (Aleyrodidae) West. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7 (6).

Nates, E. (2014). Evaluación del efecto de biochar en el suelo y la calidad de los frutos en un cultivo de uchuva (*Physalis peruviana* L.) (Trabajo de Grado). PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA. Bogotá D.C., Colombia.

Núñez, C. (2007). Relaciones de conversión entre densidad básica y densidad seca de madera. *Rev. Cienc. Technol.* (9), 44-50.



Paco, D. (2012). Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta. (Trabajo de grado). Universidad Autónoma de Barcelona. Bellaterra, España.

Ogbuewu, I.P. et al. (2011). The Growing Importance of Neem (*Azadirachta indica* A. Juss) in Agriculture, Industry, Medicine and Environment: A Review. *Research Journal of Medicinal Plant*, 5 (3): 230-245.

Ordoñez, J. (2011). “*Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico*” (Cartilla técnica). [FIGURA 25]. Recuperado de:
https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/aguas_subterranas.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2014). *Propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de 93 especies forestales*. Recuperado de:
<http://www.fao.org/3/a-i4407s.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (S.f.). *Agua*. Recuperado de: <http://www.fao.org/water/es/>

Parra, A., Martínez, A., & Jaramillo, R. (1970). Estudio general de suelos, para fines agrícolas, de las cuencas media y baja del río Bogotá y municipios aledaños. Bogotá, Colombia.

Parrota, J. & Chaturvedi, A. (1994). *Azadirachta indica* A. Juss. Neem, margosa. Meliaceae Familia de caoba. *Servicio Forestal del USDA, Instituto Internacional de Silvicultura Tropical*. 8.

Peña, E., Flórez, Milad., y Vargas, GJC. (2014). Evaluación de la eficiencia térmica del proceso de gasificación, de los residuos maderables, individuales vs mezcla en un gasificador de lecho



fijo en el jardín botánico José Celestino Mutis de Bogotá. Semillero de investigación Energías Alternativas, 1, 1-9.

Pérez, J., Borge, D., y Agudelo, J. (2009). Proceso de gasificación de biomasa: una revisión de estudios teórico – experimentales. *Fac. Ing. Univ. Antioquia*, N.º 52, 95-107.

Piñero, M. (2004). El neem: la "farmacia de la aldea". *Offarm: farmacia y sociedad*, 23(5), 128-133.

Pizano, C., y García, H. (2014). El bosque seco tropical en Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D.C., Colombia.

Porcuna, J. (2011). Aceite de Neem (*Azadirachta*) (Nº 3). Recuperado de:
https://www.agroecologia.net/recursos/Revista_Ae/Ae_a_la_Practica/fichas/n3/ficha-revista-ae-3-neem.pdf

PR Yaashikaa., Kumar, P., Varjani, S. y Saravanan, A. (2019). Los avances en la producción y aplicación de biochar a partir de materias primas lignocelulósicas para la remediación de contaminantes ambientales. Elsevier. 11-1.

Rangel, O.J., & Velásquez, A. (1997). métodos de estudio de la vegetación. En O. Range, P. Lowy y M. Aguilar (Eds.), *Colombia Diversidad Biótica II, Tipos de vegetación en Colombia*. (pp. 59-87). Santa fe de Bogotá, Colombia.

Rodríguez, N. (2013). *Guía para la cuantificación de la biomasa y el carbono forestal, generación de modelos y uso de herramientas para su estimación*. Bogotá, Colombia.
Recuperado de: CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA – CAR.

Rojas, J. y Acevedo, P. (2014). *Compendio de especies invasoras, Cobertura detallada de especies invasoras que amenazan los medios de vida y el medio ambiente en todo el mundo*.



Recuperado de: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/8112#974ABCED-646B-4392-B3A7-2A2CB1B4C07E>

Rúa, M. (2017) Ficha técnica de *Azadirachta Indica*. En: Catálogo de Arbóreas. Herbario de Cultura Empresarial Ganadera (CEG) Internacional, Colombia.

Rumplefarm, LLC, (2014), *Biochar*. [FIGURA 5, imagen c]. Recuperado de: <https://www.thelexicon.org/>.

Sankaran, K.V.; Florence, E.J.M.; Sharma, J.K. (1988). Foliar diseases of some forest trees in Kerala—new records. *Indian Journal of Forestry*. 11(2): 104-107.

Santamaría, D. H. G., & Villa, J. A. E. (2004). Saneamiento hídrico en Colombia: Instituciones y situación actual. *Ecos de Economía: A Latin American Journal of Applied Economics*, 8(18), 73-97.

Siddiqui, KM (1995). *Neem, su aparición, crecimiento y usos*. Peshawar, Pakistán: Instituto Forestal de Pakistán.

Schmidt, M. W., & Noack, A. G. (2000). Black carbon in soils and sediments: analysis, distribution, implications, and current challenges. *Global Biogeochem Cycles*, 14 (3), 777–793.

Spavento, E., Keil, G., y Monteoliva, S. (2008). *PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA* (curso de xilotecnología). Universidad Nacional de la Plata, Buenos aires, Argentina.

Tewari, D. N. (1992). *Monograph on neem (Azadirachta indica A. Juss.)*. International Book Distributors.



UNICEF-COLOMBIA (s.f.). III. *El agua potable y el saneamiento básico en los planes de desarrollo*. (Capítulo 1. El estado del agua, el alcantarillado y los residuos sólidos en los municipios). Recuperado de: https://www.procuraduria.gov.co/portal/media/file/parte3_agua.pdf

Urien, A. (2013). *OBTENCIÓN DE BIOCARBONES Y BIOCOMBUSTIBLES MEDIANTE PIRÓLISIS DE BIOMASA RESIDUAL* (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Vedavathy, S., y Pia, M. (s.f). EL PAQUETE IMPERMEABLE PARA LA SALUD DEL SUELO, LAS PLANTAS, LOS ANIMALES Y EL SER HUMANO. Recuperado de: https://www.ideassonline.org/public/pdf/br_16_33.pdf

Verheijen, F.G.A., Jeffery, S., Bastos, A.C., van der Velde, M., & Diafas, I. (2009). Biochar Application to Soils - A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions. EUR 24099 EN, Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 149pp.

Villamil, D., Naranjo, N., y Van Strahlen, M. (2012). Efecto Insecticida del Extracto de Semillas de Neem (*Azadirachta indica* A. Juss) sobre *Collaria scenica* Stal (Hemiptera: Miridae). *EntomoBrasilis* 5 (2): 125-129.

Vuelta, D., y Font, D. (2007). EL ÁRBOL DEL NIM: UNA ALTERNATIVA PARA EL CONTROL DE NEMÁTODOS. *Ciencia en su PC*, (1), 54-60.

Wang, J., & Wang, S. (2019). Preparation, modification and environmental application of biochar: a review. *Journal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2019.04.282

Xiang, W. et al., (2020). Biochar technology in wastewater treatment: A critical review. *Chemosphere*, 252. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126539>



Zhao, X., Ouyang, W., Hao, F., Lin, C., Wang, F., Han, S., Geng, X. (2013). Properties comparison of biochars from corn straw with different pretreatment and sorption behaviour of atrazine. *Bioresour Technol.* 147, 338e344.