UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL

TEMA:

PROPIEDADES DEL "BIOCHAR" OBTENIDO DE BIOMASA LIGNOCELULÓSICA PARA LA REMOCIÓN DE MICROPLÁSTICOS PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

AUTORES:

JOSÉ FREDDY CUICHÁN VIRACUCHA

FLAVIO ANDRÉS TAGLE TENEMAZA

DIRECTOR:

Dr. LUIS RAMÓN BRAVO SÁNCHEZ

PASTAZA– ECUADOR

Febrero 2021

DECLARATORIA DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quienes suscriben, Cuichan Viracucha José Freddy C.I. 1500955875, Flavio Andrés Tagle Tenemaza con C.I. 1400766075 hacen constar que son autores del Proyecto de Investigación de Integración Curricular titulado: **PROPIEDADES DEL "BIOCHAR" OBTENIDO DE BIOMASA LIGNOCELULÓSICA PARA LA REMOCIÓN DE MICROPLÁSTICOS PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**, el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del Tutor de dicho trabajo, Dr. Luis Ramón Bravo Sánchez. PhD. En tal sentido, manifiesto la originalidad de la conceptualización del trabajo como interpretación de datos y elaboración de conclusiones dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo. En el cantón Pastaza, a los 04 días del mes de agosto del 2020.





Cuichan Viracucha José Freddy

CI: 1500955875

Tagle Tenemaza Flavio Andrés

C.I. 1400766075

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación del proyecto de investigación y desarrollo aprueba el proyecto de Investigación titulado: **PROPIEDADES DEL "BIOCHAR" OBTENIDO DE BIOMASA LIGNOCELULOSICA PARA LA REMOCION DE MICROPLASTICOS PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS.**

Firmado electrónicamente por:
RICARDO VINICIO ABRIL SALTOS

_____

Ricardo Abril
Presidente del Tribunal

Firmado electrónicamente por:
DANILO PEDRO SARABIA GUEVARA

_____

M.Sc. Danilo Sarabia
Miembro del Tribunal

Firmado electrónicamente por:
MARCOS DAVID LANDIVAR VALVERDE

_____

Dr.C. Marcos Landivar
Miembro del Tribunal

CERTIFICADO DE PORCENTAJE DE SIMILITUD OBTENIDO EN EL SISTEMA ANTI PLAGIO

Quien suscribe el presente Dr. Bravo Sánchez Luis Ramón, PhD, con cédula de identidad No. 1757041452, certifica que el Proyecto de Investigación/Trabajo de Integración Curricular titulado: PROPIEDADES DEL "BIOCHAR" OBTENIDO DE BIOMASA LIGNOCELULÓSICA PARA LA REMOCIÓN DE MICROPLÁSTICOS PRESENTES EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS, ha sido examinado a través del sistema Anti plagio URKUND y presenta un porcentaje de similitud del 3 %. En el cantón Pastaza, a los 18 días del mes de febrero del 2021.



Firmado electrónicamente por:
LUIS RAMON BRAVO

Dr. BRAVO SÁNCHEZ LUIS RAMÓN
DIRECTOR DEL PROYECTO

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quienes suscriben, Cuichan Viracucha José Freddy y Flavio Andrés Tagle Tenemaza, declaramos que el presente proyecto de investigación, es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular.





Cuichan Viracucha José Freddy

CI: 1500955875

Tagle Tenemaza Flavio Andrés

C.I. 1400766075

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico principalmente a Dios, por otorgarme la vida y darme muchas fuerzas para continuar durante este arduo camino. A mis padres Susana y Flavio por apoyarme, por brindarme amor y saber guiarme para poder cumplir unos de mis anhelos más esperados. A mi hijo Daniel que es mi mayor inspiración que me da un impulso más y decirme no te rindas. A mis hermanos por estar siempre presentes brindándome apoyo incondicional. Finalmente quiero dedicar este proyecto a un gran amigo y compañero Galo, por el gran equipo que logramos formar y poder culminar lo que dijimos al momento de conocernos gracias, hermano lo logramos.

Andrés Tagle

El presente trabajo está dedicado a:

A la memoria de mi abuelo Segundo Viracucha, quien supo inculcar en mí el verdadero significado de perseverancia, por enseñarme que la riqueza material va y viene, que la verdadera riqueza es la humildad del ser humano.

A mis padres Matías Cuichán y María Viracucha, quienes han sabido darme su ejemplo de trabajo y honradez, por haber sido mi apoyo y mi fortaleza en el trayecto de la vida universitaria, por ser las personas más importantes en vida.

A mí amada hija Victoria por ser la fuente de mi inspiración y ser motivo de lucha de mi diario vivir.

Freddy Cuichán

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas las personas que estuvieron presentes durante el camino de igual manera a las que se fueron quedando. Un agradecimiento especial a María José quien fue la principal persona que me motivo a que siguiera con mis estudios de igual manera a mis padrinos Alexandra y Robinson por brindarme sus consejos y ayuda incondicional en todo momento.
Agradezco a mi Tutor de proyecto Dr. Luis Bravo quien gracias a sus conocimientos sabiduría y paciencia estuvo ahí apoyándonos a poder lograr cada uno de los objetivos planteados.
A mi compañero de proyecto Freddy por la dedicación y esmero que pusimos para poder culminar de la mejor manera esta investigación.

Andrés Tagle

A Dios por darme la sabiduría necesaria para tomar las mejores decisiones y ser nuestro guía a lo largo de nuestra existencia.

A mi familia, por haber sido mi apoyo y mi mayor fortaleza durante la carrera universitaria.

A mis amigos y compañeros de la universidad que me brindaron su apoyo incondicional en los momentos más complicados de la carrera universitaria, por ser mis cómplices y demostrarme su lealtad en todo momento.

A mi compañero y amigo del proyecto de titulación Andrés Tagle, quien ha sido parte fundamental en la culminación del proyecto.

Finalmente quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Dr. Luis Bravo principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y paciencia permitió el desarrollo de este proyecto.

Freddy Cuichán

RESUMEN EJECUTIVO Y PALABRAS CLAVE

En este estudio se estableció, sobre la base de una investigación bibliográfica, un protocolo para la obtención de "biochar" a base de biomasa residual proveniente del bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) y de Pigüe (*Piptocoma discolor* (Kunth) Pruski*)*. Dicho protocolo considera pirólisis lenta y condiciones de temperatura superiores a 475°C e inferiores a 600°C por un tiempo de al menos 3 horas, garantizando una atmósfera controlada en ausencia de oxígeno. A través de la información recolectada en bases de datos prestigiosas a nivel internacional se identificaron las propiedades del "biochar" que permiten la remoción de microplásticos presentes en aguas residuales, las cuales están relacionadas con su capacidad como medio filtrante y a su gran superficie específica y estructura muy porosa, capaz de adsorber microplásticos tanto grandes como pequeños. Si bien el mecanismo de adsorción de los microplásticos mediante el "biochar" sigue siendo desconocido, se sabe que la existencia de poros más largos en el adsorbente puede facilitar la retención de los mismos. Se identificaron tres tipos de sistemas de filtración a base de "biochar" para la eliminación de microplásticos en aguas residuales domésticas *(Sistemas en "batch", Sistemas en "batch" con agitación y sistema con lecho fijo*), y el tratamiento más adecuado de remoción de microplásticos con "biochar" sería en continuo a través de un sistema de lecho fijo debido a la facilidad con la que se pueden transportar los sólidos y a que se pudiera lograr una capacidad de remoción de microplásticos en las aguas residuales domésticas cercana al 100%.

Palabras clave: *"Biochar", bagazo de caña, Pigüe, adsorción, filtración.*

ABSTRACT AND KEYWORDS

In this research a protocol for obtaining “biochar” on residual biomass from sugarcane bagasse (*Saccharum officinarum* L.) and from Pigüe (*Piptocoma discolor* (Kunth) Pruski) was established on the basis of bibliographic research. The mentioned protocol considers slow pyrolysis and temperature conditions higher than 475°C and lower than 600°C for a time of at least 3 hours, guaranteeing a controlled atmosphere in the absence of oxygen. Through the information collected in prestigious international databases, the properties of “biochar” that allow the removal of microplastics present in wastewater were identified, which are related to its capacity as a filter medium and its large specific surface area and a very porous structure, capable of adsorbing both large and small microplastics. Although the mechanism of adsorption of microplastics by "biochar" remains unknown, it is known that the existence of longer pores in the adsorbent can facilitate their retention. Three types of filtration systems based on “biochar” were identified for the elimination of microplastics in domestic wastewater (batch systems, batch systems with stirring and system with fixed bed), and the most suitable treatment of removal of microplastics with “biochar” would be continuous through a fixed bed system due to the effortlessness with which solids can be transported and the fact that the capacity of microplastics removal in domestic wastewater could be achieved close to 100%.

Keywords: *“biochar”, sugarcane bagasse, Pigüe, adsorption, filtration.*

ÍNDICE

CAPÍTULO I 1
1. INTRODUCCIÓN 1
1.1 Planteamiento del problema 2
1.2 Objetivos 2
1.2.1 Objetivos General 2
1.2.2 Objetivos Específicos 2
1.3 Justificación 2
CAPÍTULO II 4
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 4
2.1 Biomasa 4
2.1.1 Biomasa de origen vegetal 4
2.1.2 Biomasa proveniente de árboles 4
2.1.3 Biomasa de origen agrícola 4
2.1.3.1 Bagazo de caña de azúcar 4
2.2 Definición del "Biochar" 4
2.2.1 Características del "biochar" 5
2.2.2 Obtención de "biochar", propiedades y utilización 6
2.2.3 Biochar a partir de bagazo de caña 7
2.3 Pirólisis 7
2.3.1 Pirólisis lenta 8
2.4 Microplásticos, composición, origen, impacto ambiental y vías de eliminación. 8
2.5 Aguas residuales 11
2.5.1 Caracteristicas de las aguas residuales domésticas 12
2.5.2 Normativa legal de aguas residuales 12
2.6 Adsorción 13
2.6.1 Adsorbentes No Convencionales 13
2.6.2 Filtración 13
CAPÍTULO III 14
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 14
3.1 LOCALIZACIÓN 14

3.2 Tipo de investigación 14
3.3 Métodos de investigación 14
3.3.1 Definición de un protocolo para la obtención de "biochar" a partir de biomasa lignocelulósica proveniente de residuos. 15
3.3.2 Identificación de las propiedades del "biochar" como adsorbente de los micro plásticos presentes en aguas residuales. 15
3.3.3 Propuesta de un tratamiento de remoción de micropásticos aplicado a las aguas residuales domésticas. 15
CAPÍTULO IV 17
4. RESULTADOS 17
4.1 Definición de un protocolo para la obtención de "biochar" a partir de biomasa lignocelulósica proveniente de residuos. 17
4.1.1 Protocolo para la obtención del "biochar" a partir de bagazo de Saccharum officinarum y Piptocoma discolor. 20
4.2 Identificación de las propiedades del "biochar" como adsorbente de los micro plásticos presentes en aguas residuales. 22
4.3 Propuesta de un tratamiento de remoción de micro plásticos aplicado a las aguas residuales domésticas. 23
4.3.1 Sistemas batch 25
4.3.1.1 Ventajas de utilizar sistemas "batch" 27
4.3.1.2 Desventajas de utilizar sistemas "batch" 27
4.3.2 Sistema continúo 28
4.3.2.1 Ventajas de utilizar sistemas de lecho fijo. 33
4.3.2.2 Desventajas de utilizar sistemas de lecho fijo. 34
CONCLUSIONES 35
RECOMENDACIONES 36
REFERENCIAS 37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades y aplicaciones de plásticos en alimentos. 11
Tabla 2. Composición química típica de diferentes biomasas 17
Tabla 3. Diferentes tipos de procesos térmicos con sus respectivos valores en diferentes parámetros para generar un respectivo producto 20
Tabla 4 . Materiales adecuados para la construcción de un filtro con lecho fijo. 31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fuentes y rutas de los microplásticos 9
Figura 2. Mapa de los cantones de la Provincia de Pastaza, Ecuador 14
Figura 3. Disponibilidad de biomasa residual en Ecuador. 18
Figura 4. Distribución de la biomasa en el reactor para la pirolisis..... 21
Figura 5. Sistemas de Filtración en "batch 25
Figura 6. Sistema de filtración en "batch" con agitación. 27
Figura 7. Sistema de filtración con lecho empacado. ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 8. Mecanismos de filtración de "biochar". 30

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Balance de masas ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Ecuación 2 Área superficial del material ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Ecuación 3 Área filtrante ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Ecuación 4 Capacidad por hora ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Ecuación 5 Área del filtro ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Ecuación 6 Caudal ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Ecuación 7 Altura ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Ecuación 8 Altura total ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Ecuación 9 Volumen Total ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Ecuación 10 Tiempo de Retención ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Ecuación 11 Wen y Yu ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Ecuación 12 Pérdida de fricción ..... **¡Error! Marcador no definido.**
Ecuación 13 Número de Reynolds..... **¡Error! Marcador no definido.**
Ecuación 14 Velocidad mínima de fluidización ..... **¡Error! Marcador no definido.**

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

El incremento poblacional y el consumismo a gran escala de productos no biodegradables por parte de la población hace que la contaminación de las aguas sea una problemática a escala mundial, trayendo consigo la destrucción de los ecosistemas acuáticos ya que algunos de estos productos no biodegradables son tan extremadamente pequeños que son consumidos por especies acuáticas lo que conlleva a la alteración de la cadena trófica.

En los últimos años se han realizado varios estudios en los cuales se señala la contaminación por microplásticos como un tema de importancia para la salud humana y el ecosistema. A partir de ello se han realizado varias investigaciones sobre esta temática, pero la mayoría se han enfocado en la dinámica de los microplásticos en los océanos, por lo que la información en ríos y otras aguas es limitada.

Los microplásticos tienen la capacidad de romperse con facilidad por lo que sus partículas se pueden encontrar en casi todos los ecosistemas acuáticos, por ende, la contaminación en las cuencas hídricas por microplásticos sigue en aumento, he ahí la importancia de un estudio acerca de los diferentes procesos de tratamiento para las aguas residuales domésticas.

Por tal motivo se planteó el proyecto de investigación con el cual se pretende contribuir con la disminución de microplásticos en las cuencas hídricas, con vistas a mejorar la calidad del agua y que se cumpla con los parámetros permisibles de descargas de aguas residuales.

Para lograr cumplir con los objetivos se plantea valorar el uso de los tipos de "biochar" obtenidos a partir de materia lignocelulósica de bagazo de caña de azúcar, que actualmente se lo encuentra a disposición debido al consumo de la caña por diferentes motivos; el otro producto utilizado sería *Piptocoma discolor* (Pigüe), producto del cual se obtienen residuos debido a su procesamiento pero, en caso de tomarlo de su ambiente natural no causaría ningún tipo de daño ambiental por que se encuentra en grandes cantidades incluso es considerado como maleza.

1.1 Planteamiento del problema

¿Existe una relación entre las características del "biochar" obtenido de la biomasa lignocelulósica a partir de bagazo de caña de azúcar y residuos de Pigüe y la capacidad de remoción de micro plásticos presentes en aguas residuales?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos General

Analizar las propiedades del "biochar" obtenido de biomasa lignocelulósica para la remoción de microplásticos presentes en aguas residuales comparando diferentes tecnologías de tratamiento.

1.2.2 Objetivos Específicos

Definir un protocolo para la obtención de "biochar" a partir de biomasa lignocelulósica proveniente de residuos.

Identificar las propiedades del "biochar" como adsorbente de los microplásticos presentes en aguas residuales.

Proponer un tratamiento de remoción de microplásticos aplicado a las aguas residuales domésticas.

1.3 Justificación

El recurso hídrico, al ser un líquido de vital importancia para la supervivencia de todo ser vivo, considerado a su vez por ser un disolvente universal se ha visto afectado por diferentes causas de contaminación, sean estas naturales o antropogénicas; una de las principales causas de la polución de las fuentes hídricas es la contaminación por los micro plásticos, lo cual se ha convertido en uno de los problemas ambientales que requieren de una atención inmediata a nivel mundial, por los niveles que no solo están en el agua, sino que también se encuentran en animales que viven el ríos, lagos, mares y océanos, trayendo consigo un impacto en la cadena trófica (FAO, 2017).

En la Amazonía ecuatoriana, las condiciones climatológicas varían constantemente, sean estas por la temperatura, la humedad del aire, la dirección y velocidad del viento, entre otras; las precipitaciones anuales en la región amazónica están alrededor de 2.800 a 3.000 mm en la mayor parte de las provincias. Sin embargo, la región oriental mantiene lluvias

permanentes durante casi todo el año, dándose el máximo de precipitación de todo el Ecuador en el área de Mera y Puyo (provincia de Pastaza), en donde supera los 4.500 mm en el mes de noviembre. “Su régimen es gobernando por una compleja circulación de masas de aire estacionales que discurren desde los principales centros de alta y baja presión ubicados entre Bolivia y Brasil” (Bendix & Lauer, 1992). El mayor volumen de agua que precipitó en la estación Puyo fue de 835,7 mm en el mes de junio del año 1991 (INAMHI, 2020).

Los residuos que pueden ser utilizados para la adsorción de partículas y contribuir con la depuración de aguas residuales o de lluvia, son aquellos que poseen un alto contenido de carbono, una de las características que deben ser prioritarias para su selección es que los materiales no deben competir con otros usos, principalmente si estos generan productos de mayor valor económico que el biocarbón, o bien que compitan con la producción de alimentos y de bienes y servicios ambientales. Algunos productos como el bagazo de caña de azúcar, biomasa de árboles, desechos de arroz, papel, cascarilla de café y residuos de madera (aserrín), entre otros, se han estudiado para la obtención de “Biochar**”** (Escalante et al., 2016); algunos de estos productos se encuentran en la Amazonia ecuatoriana en gran abundancia y se pueden aprovechar para darle un uso en la eliminación de partículas de micro plásticos de aguas residuales domésticas, mediante adsorción o filtración.

Por tal motivo el presente trabajo de investigación tiene un enfoque en buscar el método de mayor eficacia para la obtención de “biochar” a partir de materiales orgánicos (biomasa) que permitan abaratar costos de producción y que estén al alcance de las personas o de las diferentes instituciones, y que además, su uso permita contribuir con la disminución de los micro plásticos en los diferentes acuíferos y así mejorar la calidad del agua o devolver las aguas residuales con los parámetros permisibles a las fuentes hídricas.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Biomasa

La biomasa es la materia orgánica originada en un proceso biológico, que puede ser utilizable como fuente de energía o como productos de transformación para diferentes fines. La biomasa es una forma de energía renovable que puede ser importante desde el punto de vista energético y ambiental y como un aporte para el desarrollo socioeconómico de las zonas rurales (Pozas, 2012).

2.1.1 Biomasa de origen vegetal

La biomasa de origen vegetal, entre la que se cuenta la biomasa residual de origen agrícola, se compone de tres estructuras básicas de cadenas poliméricas: celulosa, hemicelulosa, lignina y una pequeña parte de otros compuestos orgánicos, estos se constituyen principalmente de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno (Martínez & Bohórquez, 2017).

2.1.2 Biomasa proveniente de árboles

Para el caso de un árbol, la biomasa se define como la cantidad total de materia vegetal que lo forma, incluyendo sus componentes aéreos y subterráneos, mientras que, si generalizamos al caso de una masa forestal, su biomasa constituiría la cantidad de materia vegetal de todos sus individuos. Se expresa generalmente en términos de peso seco, masa o volumen (Balboa, 2005).

2.1.3 Biomasa de origen agrícola

2.1.3.1 Bagazo de caña de azúcar

El bagazo es un material lignocelulósico, compuesto principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, que se obtiene como subproducto o residuo en una fábrica de azúcar después de que se extrae el jugo de caña de azúcar, lo que representa alrededor del 25% al 40% del total de materiales procesados (Pernalete, Piña, Suárez, Ferrer, & Aiello, 2008).

2.2 Definición del "Biochar"

El "biochar" o biocarbón es el producto de la descomposición térmica de materiales orgánicos (biomasa) con escaso o limitado suministro de oxígeno (pirólisis), a temperaturas

relativamente bajas (inferiores a los 700ºC) y que es destinado a uso agrícola, lo que hace que sea diferente al carbón usado como combustible y al carbón activado (Escalante et al., 2016). Por otra parte, otros autores lo definen como un producto que se puede obtener mediante residuos sólidos orgánicos con una biomasa disponible. Este material tiene una composición química bastante parecida a la del carbón natural, sin embargo, el "biochar" contiene más compuestos con oxígeno e hidrógeno, que son obtenidos por medio de una transformación térmica de biomasa, llamada pirólisis. El "biochar" se considera que posee componentes de carbono altamente recalcitrantes, lo que le ayuda a soportar una oxidación tanto química como biológica, logrando un tiempo de residencia mayor que el de la materia orgánica del suelo (Cantor & Castañeda, 2018). Esta biomasa orgánica carbonizada se procesa hasta obtener un producto de grano fino y poroso, el cual es nombrado "biochar" cuando se utiliza para mejorar la fertilidad de los suelos; aspecto que permite la diferenciación respecto al denominado carbón vegetal.

Las materias primas de las cuales se produce son muy numerosas, las cuales fusionadas con otros factores son las responsables de las propiedades que después posea el "biochar" (Fernández, 2017). Este producto tuvo su origen al ser redescubiertas las tierras negras de los indios amazónicos de Brasil, descritas como Terra Preta (tierra negra), por Smith en 1879 y Hartt en 1885. Estos autores consignaron la existencia de unos suelos oscuros y fértiles en la Amazonia brasileña, pero no pudieron precisar su origen (Escalante et al., 2016).

El biocarbón producido en el proceso de pirólisis de biomasa es un sólido estable y rico en carbono poroso. Con una gran superficie, se ha utilizado para mejorar la fertilidad del suelo y como medidas correctoras de suelos contaminado debido a su gran capacidad para adsorber contaminantes orgánicos y materia inorgánica en el agua (Martínez & Bohórquez, 2017).

2.2.1 Características del "biochar"

Las características específicas del "biochar" al igual que de los "compost" resultan diferentes y complejas, debido a que dependen del producto inicial utilizado, lo que significa que existe "biochar" de alta calidad y de baja calidad, dependiendo de la propiedad que se analice. Pero, por otro lado, existen ciertas propiedades agroquímicas que pueden ser

comunes a este tipo de materiales. Su contenido en nitrógeno es generalmente bajo debido a que se produce una combustión de la biomasa. A su vez, el contenido en carbono orgánico es bastante alto, muy resistente a la degradación, y que, además, le confiere al material una gran porosidad. Esta propiedad también afecta a su capacidad de retención hídrica, que es mayor que otros materiales orgánicos como el compost. Presenta una baja densidad, pH alcalino y en cuanto a los nutrientes, en muchos casos su contenido en fósforo disponible es alto, así como el resto de macro y micronutrientes. Esto depende fundamentalmente del material utilizado (por ejemplo, si se usan materiales óseos o en espinas de pescado será muy rico en fósforo, etc.) pero por lo general, su contenido será ligeramente mayor que en los productos iniciales, simplemente por la reducción del volumen de la biomasa durante el proceso de pirólisis. Finalmente, otra característica muy interesante es su alto grado de aromaticidad, que viene dado por la proporción existente entre los átomos de carbono y nitrógeno (Tortosa, 2015).

2.2.2 Obtención de "biochar", propiedades y utilización

La biomasa utilizada para el proceso de pirólisis puede generarse de diferentes maneras, como la agricultura, ganadería, sector forestal (restos de la madera: aserrín), y residuos municipales, entre las más habituales. La biomasa originada de diferentes cultivos o de residuos generados de actividades ganaderas, actividades comerciales o industriales, como es el caso del bagazo de la caña de azúcar, que es un residuo que en muchos lugares no se le da otro uso más que arrumarlo y otro ejemplo que cabe mencionar serían los lodos de las plantas de tratamiento de aguas, que pueden ser materiales a pirolizar. En el futuro, la materia prima a pirolizar debería elegirse de acuerdo a los subproductos que se deseen obtener y la técnica de pirólisis a utilizar. En el caso de priorizar la obtención de "biochar", el material de partida condiciona alguna de sus características como el contenido de macro y micronutrientes, la estructura física, la capacidad de retención de agua, etc., lo cual es de suma importancia para los efectos que el "biochar" (Abenza, 2012).

La densidad baja, el contenido elevado de carbono y el bajo contenido en nitrógeno, la alta capacidad de retención de la humedad y la porosidad elevada le dota al "biochar" de excelentes propiedades como adsorbente (Ares, 2016).

La capacidad de adsorción se considera una propiedad muy particular que solo ciertos materiales sólidos tienen y eso permite que puedan ser utilizados como adsorbentes industriales (Toapanta, 2017)**.**

La utilización del biocarbón en los suelos se ha proliferado en los últimos años, de igual manera la investigación de sus beneficios en la aplicación de suelos, el biocarbón puede utilizarse con el propósito de reducir la contaminación de metales en suelos y mejorar la fertilidad , otros beneficios con respecto a la disminución en el uso de recursos naturales, como ejemplo el agua para irrigación, y el ahorro en la inversión de materias primas, debido a que se puede disminuir el uso de fertilizantes, agua, cal y reducción de pérdidas de nutrientes, entre las características más destacadas (Segura, 2018)**.**

2.2.3 Biochar a partir de bagazo de caña

El bagazo de la caña de azúcar es un residuo muy abundante generado en la industria azucarera, el cual se produce en cantidades de 250 a 400 kg por cada tonelada procesada de tallo. El destino más común que se le da a estos residuos ha sido la quema con fines energéticos, sin embargo, esta actividad ha sido considerada como inapropiada en el marco de la sustentabilidad y la ecología. Además de que el bagazo de caña de azúcar tiene usos para la producción de energía en las calderas de los ingenios o centrales azucareros, también se utiliza para la obtención de subproductos como alcohol, y se ha considerado también como materia prima para la producción de biocarbón (Rebolledo et al., 2016).

La provincia de Pastaza es una zona dedicada al cultivo y procesamiento de la caña de azúcar, en la cual existen trapiches dedicados a la fabricación de productos derivados de la caña y esto provoca que se deseche gran cantidad de bagazo, el cual pudiera ser aprovechado para la fabricación de biochar. Es de gran ventaja utilizar este residuo para obtener biochar ya que es fácil de conseguir y no requiere mucho tiempo de pirólisis, por lo que acelera el proceso para su elaboración.

2.3 Pirólisis

Se lleva a cabo a través de una serie de reacciones en las que influyen muchos factores: la estructura y composición de la materia prima, la tecnología utilizada, la velocidad de calentamiento, el tiempo de residencia, la velocidad de enfriamiento y la temperatura del

proceso. El rendimiento en peso del biochar, depende de las condiciones y los parámetros de operación del proceso de pirólisis, de la temperatura final y de la composición de la biomasa. Este rendimiento disminuye rápidamente con el aumento de la temperatura y la velocidad de calentamiento de la biomasa, al favorecerse de este modo la generación de gases y la formación de un carbón muy reactivo, de alta porosidad, que evoluciona hacia la formación de compuestos volátiles (Martínez & Bohórquez, 2017).

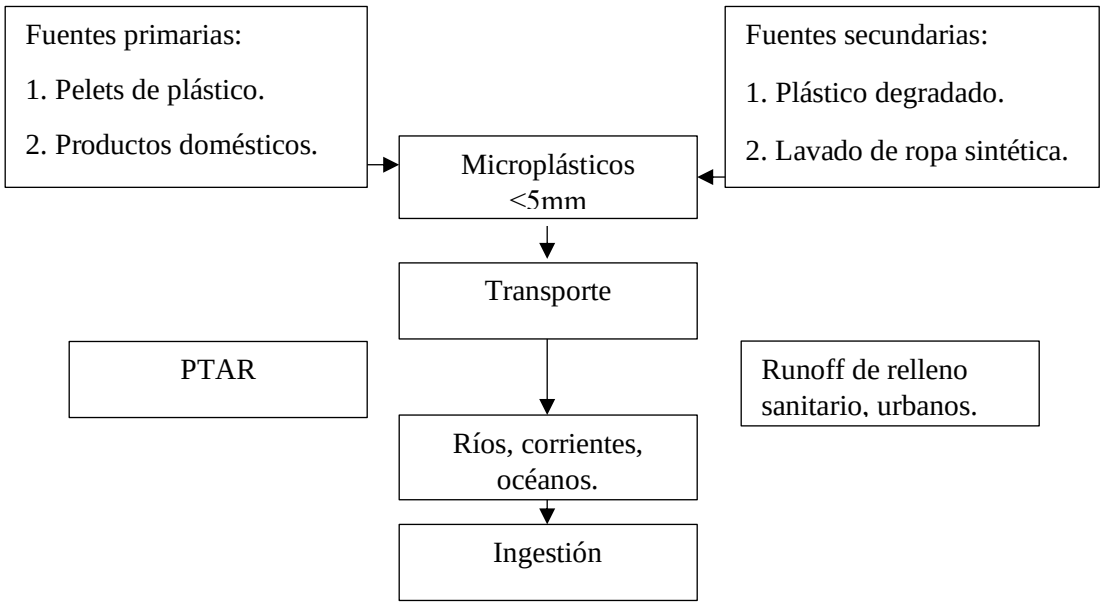
2.3.1 Pirólisis lenta

Este tipo de pirólisis es comúnmente utilizado para la producción de biochar y su uso en aguas residuales, porque su proceso es favorable, la materia prima comúnmente utilizada es hemicelulosa y celulosa, en su proceso la mayor descomposición ocurre entre 200 y 500 °C. Los grupos presentes en la superficie se reducen durante el proceso de pirólisis, el incremento de la temperatura produce biochar con disminución de acides, polaridad en la superficie y un incremento en aromaticidad. Si el radio O-C es mayor indica que hay una mayor presencia de 8 grupos funcionales y a su vez una mayor capacidad de intercambio catiónico que incrementa, pero luego decrece con el aumento de la temperatura de pirólisis. El pH indica que la mayoría de "biochars" producidos por pirólisis lenta son alcalinos y biochars producidos a temperaturas altas tienen un mayor pH. Todos estos factores afectan la eficiencia de absorción del biochar por lo que se debe producir en condiciones adecuadas (Martínez & Bohórquez, 2017).

2.4 Microplásticos, composición, origen, impacto ambiental y vías de eliminación.

Los microplásticos son partículas de material plástico de tamaño inferior a 5 mm de diámetro y, muchas veces, microscópicas. Aunque no existe una definición clara, la EFSA considera a los microplásticos como una mezcla heterogénea de partículas con diámetro de entre 0,1 y 5000 µm. Se consideran nanoplásticos aquellos con al menos una dimensión de entre 0,001 y 0,1 µm. Como plástico se considera a todo material polimérico de origen sintético. Los polímeros presentes en la mayoría de los micro plásticos y nanoplásticos son el polietileno, el polipropileno y el poliestireno (Gomez, 2019).

Figura 1. Fuentes y rutas de los microplásticos.



Adaptado de: "La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos The big environmental problem of the plastic waste: Microplastics." J. Cienc. e Ing. (Sarria, Gallo, & Gallo, 2016).

La producción y uso de microplásticos en el mundo ha aumentado exponencialmente desde la década de 1950 hasta alcanzar más de 320 millones de toneladas en 2015. Teniendo en cuenta que la demanda de productos plásticos sigue aumentando, se estima que la producción superará los 1.000 millones de toneladas en 2050. Los microplásticos provienen de diversas fuentes y se clasifican en dos categorías generales:

- Los microplásticos primarios, que se fabrican intencionalmente de un cierto tamaño, tales como los granulados, polvos y abrasivos domésticos e industriales.
- Los microplásticos secundarios, provenientes de la degradación de materiales más grandes, ya sea por su fragmentación en microplásticos, como por ejemplo: bolsas de plástico, materiales de embalaje de alimentos y cuerdas, o las emisiones de microplásticos durante el transporte terrestre (la fuente más importante es la abrasión de los neumáticos de automóviles en uso).

Inicialmente, los microplásticos provenían de la abrasión, degradación y la fragmentación física de fuentes de origen terrestre. Más recientemente, la fabricación de microplásticos y nanoplásticos ha exacerbado aún más su presencia en el ambiente y sus riesgos potenciales. Los primeros informes sobre la contaminación por microplásticos a

causa de residuos plásticos de varios tamaños se publicaron en la década de 1960, y se basaron en estudios del contenido estomacal de aves marinas varadas (FAO, 2017).

El amplio uso y degradación de los plásticos ha dado como resultado una amplia distribución de los microplásticos en el ambiente. La constante deposición de plásticos y micro plásticos a través de varias décadas en el ambiente marino ha incrementado de manera alarmante la exposición de los organismos vivos que habitan mares y océanos a los mismos. Algunos micro plásticos son lo suficientemente pequeños como para ser consumidos por diminutos animales como el zooplancton en la cadena alimenticia. El impacto más probable de ingerir microplásticos es la obstrucción física del sistema digestivo, lo cual puede causar que el animal pare de alimentarse debido a la sensación de llenura y muera. Los animales que ingieren gran cantidad de plásticos, mueren por inanición (Rojo & Montoto, 2017). Estudios de laboratorio indican que los nanoplásticos inhiben la fotosíntesis en el alga microscópica Chlorella. Un significativo decrecimiento de la generación de CO_2 fue observado a concentraciones de 1.8 mg/L de poliestireno en una disolución que contenía algas. La presencia de micro plásticos en el agua puede afectar el completo desarrollo de especies acuáticas, siendo un caso importante el de las algas, al ser los productores primarios y la base de la cadena alimenticia en los cuerpos de agua (Sarria, Gallo, & Gallo, 2016).

En cuanto a las vías de eliminación de los microplásticos, primeramente, pasan por un proceso de recolección de muestra y una posterior extracción. La técnica de extracción de microplásticos generalmente empleada ha sido la separación por densidad y posterior filtración. Este proceso físico, utilizado para separar las partículas sólidas de los fluidos, se suele llevar a cabo con ayuda de filtros de membrana micro porosa con un tamaño de poro de 0,45 μm y un diámetro de 110 mm. Además, puede utilizarse un embudo Büchner de porcelana y una bomba de vacío (Bayo et al., 2017).

Los métodos más comunes de eliminación involucran la degradación o la disolución de la materia biogénica, con el fin de aislar e identificar las partículas de plástico. Se emplean métodos con digestión ácida, alcalina u oxidante y temperatura elevada. Estos métodos también degradan parcialmente otros materiales, por lo que presentan inconvenientes para la medición de la cantidad de plásticos en alimentos. También se han aplicado métodos enzimáticos. En el caso de partículas relativamente grandes (>500 μm); la disección visual

puede constituir una opción. Una vez separados, los plásticos pueden identificarse y cuantificarse mediante varias técnicas instrumentales (microscopia, espectroscopia, espectrometría de masas) con distintas características de sensibilidad, rendimiento y resolución espacial (Gómez et al., 2019).

Tabla 1: *Propiedades y aplicaciones de plásticos en alimentos*.

Polimero	Tg (°C)	Posibles migraciones	Aplicaciones alimentos
LDPE	-20	Antioxidantes(BHA,BHT) Antiestaticos Pigmentos Antideslizantes	Bolsas de charcuteria Envoltorios cereales
HDPE	-20	Igual que LDPE	Botellas Tapones Bolsas y envoltorios
PP	+5	Antioxidante Pigmentos Absorbentes UV	Envoltorios caramelos Bolsas de aperitivos Botes de margarina Comida rapida
PS	+90 +100	Estireno Absorbentes UV Modificadores (alto impacto)	Bandejas de carne Galletas Contenedores de comida rapida
APET	+67	Acido tereftalico Trimeros de PET Catalizadores	Botellas Bandeja para hornear
PVC	+80	Estabilizadores Pigmentos Cloruro de vinilo	Peícula para carne y queso
PC	149	Bisfenol A Emulsionante Antioxidantes	Botellas Envoltorios Bandejas para hornos

Tomado de: "Diseño de sistema de regeneración de 1000 m3/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos" (Gómez et al., 2019).

2.5 Aguas residuales

Las aguas residuales son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (OEFA, 2014).

Las aguas residuales se componen, básicamente, de un 99% de agua y un 1% de sólidos disueltos, suspendidos o coloidales. El vertido de aguas residuales sin tratar o con tratamiento inadecuado tendrá consecuencias que se clasifican en tres grupos, según tengan: i) efectos nocivos para la salud humana; ii) efectos ambientales negativos; iii) repercusiones desfavorables para las actividades económicas (UNESCO, 2017).

La presencia de microplásticos en el ambiente acuático, como se ha mencionado con anterioridad, es de suma preocupación, debido a su alta peligrosidad. La importancia de su estudio, presencia, seguimiento, transporte y destino es primordial para la puesta en marcha de acciones preventivas y correctivas por parte de toda la sociedad, gobiernos, productores y consumidores. Una parte de los estudios realizados, tratan de la importancia de las plantas de tratamiento de aguas residuales (EDAR) como receptoras y a la vez fuente (efluentes tratados), en concreto como sumideros (fangos) de macropartículas (microfibras, micro plásticos) al ambiente *(*Lopez et al., 2019).

2.5.1 Caracteristicas de las aguas residuales domésticas

Las aguas residaules domesticas contienen material suspendido y disuelto orgánico e inorgánico que, de acuerdo con el tipo de constittuyente se clasifican en : convencionales (sólidos suspendidos y coloidales, materia orgánica carbonácea, nutrientes y microorganismos patógenos), no convencionales (organicos refractarios, orgánicos volátiles, surfactantes, metales, sólidos disueltos) y emergentes (medicinas, detergentes sintéticos, antibióticos veterinarios y humanos, esteorides, etc) (Torres, 2012).

2.5.2 Normativa legal de aguas residuales

Art. 196.- Tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales deberán contar con la infraestructura técnica para la instalación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales, de conformidad con la ley y la normativa técnica expedida para el efecto. Asimismo, deberán fomentar el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización, siempre y cuando estas recuperen los niveles cualitativos y cuantitativos que exija la autoridad competente y no se afecte la salubridad pública. Cuando las aguas residuales no puedan llevarse al sistema de alcantarillado, su tratamiento deberá hacerse de modo que no

perjudique las fuentes receptoras, los suelos o la vida silvestre. Las obras deberán ser previamente aprobadas a través de las autorizaciones respectivas emitidas por las autoridades (CODIGO ORGANICO DEL AMBIENTE, 2017).

2.6 Adsorción

La adsorción es, de entre diversos métodos, uno de los popularmente aceptados por su versatilidad, conveniencia, sencillez, siendo el carbono activado el adsorbente "ideal" para eliminar diversos contaminantes presentes en agua. Por la alta capacidad de adsorción de materia orgánica, el carbono activado es el material adsorbente mayormente utilizado, por lo que es considerado un adsorbente convencional (Valladares, Cardenas, Cruz, & Melgoza, 2017).

2.6.1 Adsorbentes No Convencionales

La aplicación de materiales de bajo costo obtenidos a partir de diferentes biomasas provenientes de la flora microbiana, algas y residuos agroindustriales ha sido investigada para reemplazar el uso de métodos convencionales en la remoción de contaminantes (Tejada, Villabona, & Garcés, 2014) Por ello la utilización de estos residuos, principalmente las cáscaras de las frutas, para la eliminación de los contaminantes presentes en los efluentes acuosos, es un alternativa de gran potencial y de aprovechamiento que presenta diversas ventajas como ser materiales bioadsorbentes de bajo costo, disponibilidad, adecuada capacidad de adsorción, factibilidad de mejorar a través de modificación química, susceptible a la regeneración, degradabilidad lo que conduce a un menor número de problemas en la disposición final posterior a la adsorción (Valladares, Cardenas, Cruz, & Melgoza, 2017).

2.6.2 Filtración

Se han realizado varias investigaciones sobre el uso de biochar como medio filtrante para la remoción de ciertos contaminantes en el agua incentivando su uso en la industria, ya que es un material que permite no solo remover los contaminantes, sino también darle un tratamiento a los desechos agrícolas que antes no tenían ninguna utilidad; entre las ventajas que presenta el biochar, en comparación con las técnicas convencionales se tiene: bajo costo, alta eficiencia, minimización de productos químicos y lodos biológicos además no se requieren nutrientes adicionales (Tejada, Villabona, & Garcés, 2014).

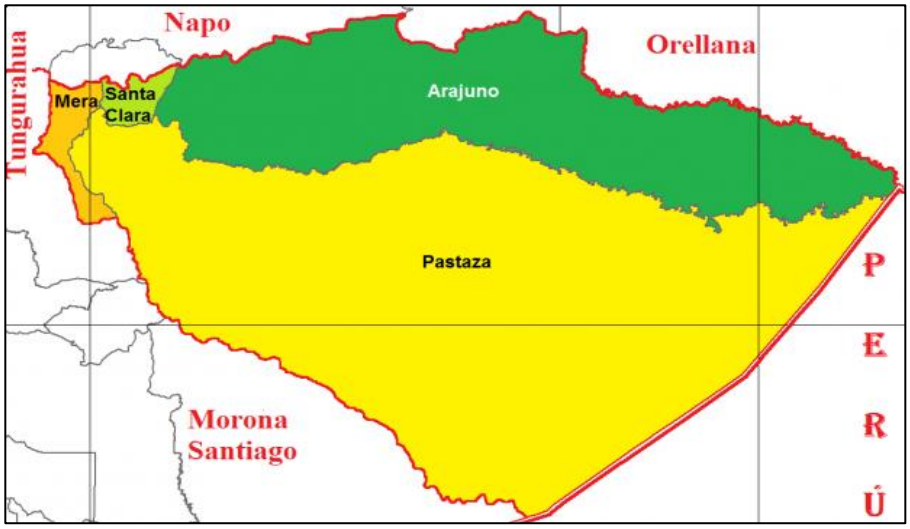
CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 LOCALIZACIÓN

El proyecto estuvo enfocado en el cantón Pastaza, que se encuentra ubicado en la provincia de Pastaza, a una latitud de -1.484079 y longitud de -78.001257.

Figura 2. Mapa de los cantones de la Provincia de Pastaza, Ecuador



Tomado de: PDOT de la provincia de Pastaza, Dirección de Planificación – GPP, (2017).

3.2 Tipo de investigación

Este proyecto se realizó mediante una investigación Exploratoria Cualitativa – Documental en la que siempre se procuró el logro de una adecuada fidelidad y veracidad de la información, para lo cual se revisó literatura de diferentes fuentes oficiales y artículos de revistas indexadas en bases de datos de prestigio internacional, para poder proponer una nueva vía para la utilización del "biochar" en la provincia de Pastaza.

3.3 Métodos de investigación

Se realizó un estudio bibliográfico, descriptivo con vistas a enfrentar la problemática de la contaminación de las aguas por micro plásticos y se realizó una propuesta con posibilidades de aplicación práctica en la provincia de Pastaza.

3.3.1 Definición de un protocolo para la obtención de "biochar" a partir de biomasa lignocelulósica proveniente de residuos.

Se realizó una revisión bibliográfica, teniendo en cuenta las bases de datos de prestigio internacional, con vistas a conocer los métodos que se han utilizado para la obtención de "biochar" y valorar su posible obtención en la región amazónica del Ecuador y específicamente en la provincia de Pastaza, teniendo en cuenta la biomasa residual que frecuentemente se genera a nivel de esta región como es el bagazo de caña de azúcar que es un residuo frecuente en el cantón Pastaza y la ciudad de Puyo, proveniente de las paneleras y por otra parte estaría el Pigüe que se encuentra en grandes cantidades y que, por su rápida propagación, su uso con estos fines no sería considerado como un problema ambiental.

3.3.2 Identificación de las propiedades del "biochar" como adsorbente de los micro plásticos presentes en aguas residuales.

Teniendo en cuenta los antecedentes bibliográficos, acerca del uso del "biochar", se propuso su utilización como adsorbente de microplásticos en las aguas residuales domésticas, ya que se conoce el peligro que estos representan tanto al ambiente como a la salud humana causando daños severos.

Se realizó un análisis bibliográfico de la estructura y las propiedades físicas y químicas del "biochar" como adsorbente y se valoró su uso como adsorbente de micro plásticos, teniendo en cuenta, además, su capacidad filtrante.

3.3.3 Propuesta de un tratamiento de remoción de micropásticos aplicado a las aguas residuales domésticas.

Para la eliminación de los microplásticos se analizó el método de adsorción/filtración mediante la biomasa orgánica "biochar" el cual se puede obtener mediante pirólisis controlada.

En el presente trabajo se ofrecen, en teoría, posibles vías para la remoción de microplásticos, considerando los siguientes sistemas:

- Sistemas en "batch"
- Sistemas en "batch" con agitación

- Sistema con lecho fijo

Para la selección del sistema más adecuado se estudiaron las características de funcionamiento de cada uno de ellos y se tuvieron en cuenta las ventajas y desventajas descritas en la bibliografía.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

Según la metodología aplicada en la investigación se explicaron tres fases, seguidamente se muestran los resultados obtenidos.

4.1 Definición de un protocolo para la obtención de "biochar" a partir de biomasa lignocelulósica proveniente de residuos.

En Ecuador se encuentran variedades de residuos de biomasa: bagazo de caña, cascarilla de arroz, cascarilla de café, residuos maderables, entre muchas; las cuales no tienen una adecuada disposición y se convierten en fuentes de contaminación. La composición química de estas biomasas es básicamente celulosa, hemicelulosa y lignina, tal y como se observa en la Tabla 2.

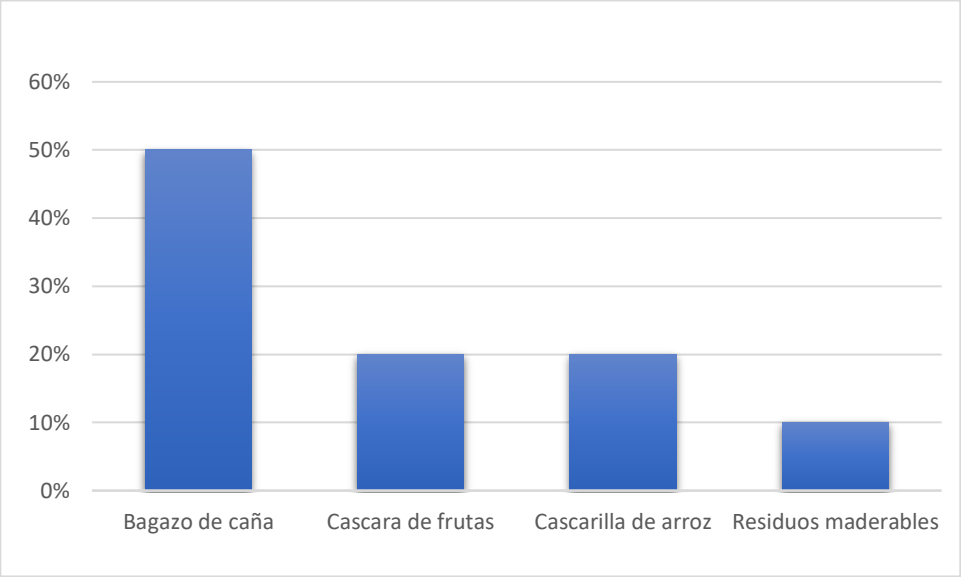
Tabla 2. *Composición química típica de diferentes biomasas.*

BIOMASA	CELULOSA	HEMICELULOSA	LIGNINA
Bagazo de caña	42.7	33.1	24.2
Cascarilla de arroz	43.8	31.6	24.6
Residuos de banano	32.4	35.3	33.3
Residuos de tabaco	44.6	30.2	25.2
Residuos de coco	52.2	28.4	19.4
Madera	42.0	22.0	36.0

Tomada de: "Evaluación de la eficiencia de biochar producido a partir de pirólisis lenta de bagazo de caña como medio filtrante para retención de fenoles en matriz acuosa" (Bohórquez, 2017).

Se revisaron 50 artículos científicos relacionados con la materia prima para la obtención de "biochar", de los cuales 25 hablaban de bagazo de caña, 10 de cáscaras de frutas, 10 de cascarilla de arroz y 5 de residuos maderables, como se observa en la figura 2. Debido a la ubicación de la investigación y por la disponibilidad de biomasa se consideró favorable trabajar con dos tipos de residuos: bagazo de caña de azúcar y residuos de madera.

Figura 3. Disponibilidad de biomasa residual en Ecuador.



Fuente: Autores

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) es el cultivo más importante para la producción de azúcar, el 60% del azúcar en el mundo se produce de caña (González et al., 2019) y su cultivo es uno de los de mayor importancia en la producción agrícola de la provincia de Pastaza, Ecuador. Los derivados agroindustriales pioneros son: azúcar, panela, etanol artesanal e industrial (González et al., 2019). La quema de bagazo en la producción de azúcar ha elevado la emisión de contaminantes en los ingenios ya que no cuentan con calderas adecuadas para estos procesos. Estos contaminantes pueden generar impactos serios en la salud de las personas que están cerca de la quema; además, se emiten gases de efecto invernadero que provocan problemas ambientales. (Morales, 2011), por lo tanto, se consideró de gran importancia darles un manejo adecuado a estos residuos con la finalidad de obtener beneficios socioambientales.

Martinéz & Bohórquez (2017) plantearon en su investigación que la ventaja de utilizar bagazo de caña para la fabricación de "biochar" es que requiere de poco tiempo de pirólisis y a una temperatura baja, por lo que se acelera la producción. Esto permite que el rendimiento del proceso no se vea afectado y se logre un buen rendimiento, así el material alcanzará la temperatura necesaria para su transformación. La caracterización del "biochar" demostró que el bagazo de caña de azúcar posee las propiedades fisicoquímicas propicias

para producir un material que cumpla con las características de un medio filtrante para tratamiento de aguas residuales.

La potencialidad de gestionar los residuos de madera abre la posibilidad de hacer uso de los "biochars" provenientes de maderas, respondiendo así a la necesidad de una gestión sostenible acorde con la conservación del medio ambiente (Echeverria, 2017).

La biomasa residual conformada por ramas, cortezas externas (ritidoma) y hojas, que se desprenden naturalmente, por las características genéticas de la variedad; se descomponen en el mismo sitio donde se depositan. Además, la vulnerabilidad que tiene la biomasa seca para inflamarse, causa graves alteraciones a la estructura del suelo y daños al ambiente por la abundante generación de CO_2 a la atmósfera (Iglesias, 2019). Frente a este problema, se evidenció que es importante analizar nuevas formas de manejo de la biomasa como es el "biochar" (biocarbón), para evitar el desperdicio de fuentes alternas de fertilización orgánica y generar la recirculación de nutrientes en el mismo sitio, las que proporcionen alternativas factibles en el campo ambiental.

Según Llivigañay & Villarroel (2019) la especie *Piptocoma discolor*, conocida como Pigüe es de gran abundancia en la Amazonía debido a su rápida propagación y regeneración, está distribuido por toda la región amazónica formando extensos bosques secundarios, la mayor densidad de estos árboles se encuentras dentro de la provincia y cantón Pastaza por lo que se estimó que es de gran beneficio utilizar su biomasa residual para la obtención de "biochar".

El Pigüe, en asociación con otras especies tiene mayor relevancia por su abundancia natural, con respecto a los pastos y chacras (Hurtado, 2013). Su dominio hace que tenga interés con respecto a las otras especies de la zona; y de esta manera contando con 8754 m3, anualmente en la provincia de Pastaza según él (MAE, 2009). Como residuos de biomasa desaprovechada anualmente con relación a esta especie en corteza 3.919.06m3, canteado 8.942.42 m3 y de aserrín de 7.712.43 m3. Esto representa un 70.15% de biomasa no aprovechada (Villalba, 2019).

Para la estimación del potencial biomásico total en la provincia de Pastaza se tomó en cuenta el cociente entre la producción anual de biomasa en toneladas. Según el inventario

de la provincia de Pastaza cuenta con 41.097.686,87 T de biomasa del Pigüe, del mismo que se prevé aprovechar 36987,92 T anualmente lo que corresponde al 1% del total de la biomasa estudiada (Villalba, 2019).

4.1.1 Protocolo para la obtención del "biochar" a partir de bagazo de Saccharum officinarum y Piptocoma discolor.

Tabla 3. *Diferentes tipos de procesos térmicos con sus respectivos valores en diferentes parámetros para generar un respectivo producto.*

Procesos térmicos	Rango de temperatura	Velocidad de calentamiento	Tiempo de residencia	Producto
Pirólisis lenta	500-600	Lenta (<10°C/min)	Horas-segundos	Biochar
Torrefacción	200-300	Lenta (<10°C/min)	Minutos-horas	Biomasa estabilizada
Pirólisis ráida	400-500	Muy rápida (1000°C)	segundos	Bioaceites
Gasificación	700-1500	Modera- Rápida	Segundos-minutos	Syngas/producción de gas
HTC	175-250	Lenta	Horas	Hydrochar
Ultrarrápida	1000	Muy Rápida	<0,5 segundos	Químicos y gas
Vacío	400	Media	2-30 segundos	Bioaceites
Hidropirólisis	<500	Rápida	< 10 segundos	Bioaceites
Metanopirólisis	>700	Rápida	< 10 segundos	Químicos

Tomada de: "Bioresource Technology Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar , a renewable , low cost and sustainable adsorbent – A critical review. *Bioresource Technology"* (Mohan, 2014).

Según Forero & Dominguez (2018) la pirólisis es el procesamiento térmico de biomasa en ausencia total de oxígeno, en cuyo proceso se utiliza combustible externo para poder conducir las reacciones en este tipo de ambiente. Como se puede observar en la tabla 2, es conveniente utilizar la pirólisis lenta para la obtención de biochar proveniente tanto del bagazo de caña como de los residuos del Pigüe.

Este proceso térmico, se ha utilizado desde hace poco para la transformación de biomasa en "biochar" y para llegar a este tipo de producto se deben tener en cuenta las condiciones de temperatura en el intervalo de 500-600°C a una velocidad de calentamiento lenta y un tiempo de residencia que puede variar entre horas y minutos, garantizando una atmósfera controlada en ausencia de oxígeno (Mohan, 2014). Forero & Dominguez (2018) propusieron que para la producción del "biochar" es necesario garantizar las siguientes condiciones:

- Pirólisis lenta en una mufla
- Atmósfera controlada a una temperatura de 500°C
- Tiempo de residencia de 15 minutos

Se seleccionó también la metodología utilizada por Siipola, Pflugmacher, Romar, Wendling, & Koukkari (2020):

- La biomasa forestal residual se procesó usando pirólisis lenta en un reactor de 115 L.
- Las muestras se distribuyeron en el reactor en cuatro niveles como se puede observar en la figura 4.
- El tiempo de carbonización y la temperatura fue de 3 horas y 475 °C, respectivamente.

Figura 4. Distribución de la biomasa en el reactor para la pirolisis



Tomada de: "Low-Cost Biochar Adsorbents for Water Purification Including Microplastic Removal. Applied sciences" (Siipola, Pflugmacher, Romar, Wendling, & Koukkari, 2020):

El “biochar” producido se activó con vapor utilizando el mismo reactor que para la pirólisis lenta. Los residuos de madera fueron pesados en recipientes de acero.

4.2 Identificación de las propiedades del “biochar” como adsorbente de los micro plásticos presentes en aguas residuales.

Aunque no hay una definición estandarizada del concepto de micro plástico, parece ser que se discutió formalmente en la jornada: “First International Workshop on the occurrence effects and fate of microplastic marine debris”, que tuvo lugar en 2008 y fue organizada por la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) de Estados Unidos. Los participantes acordaron el límite máximo de 5 mm como criterio para considerar los microplásticos como tales. Por otro lado, en el ámbito de los nanomateriales, se considera como nanoplásticos aquellos inferiores a 100 nm (Pastor & Agulló, 2019).

Pivokonsky et al., (2018) en la República Checa compararon la presencia de micro plásticos en abastecimientos antes y después del tratamiento del agua potable por filtración/flotación. Como resultado, se redujeron los niveles de estos contaminantes hasta un 83% como promedio, prevaleciendo principalmente fragmentos menores a 50 µm.

La adsorción es un método que ha demostrado ser prometedor para la eliminación de contaminantes en medios acuosos y que según (Valladares, Cardenas, Cruz, & Melgoza, 2017) está ganando terreno dentro de las técnicas de tratamiento de efluentes. El uso de la adsorción en la remoción de contaminantes en disolución acuosa mediante el uso de biomasa residual es aplicable a estos procesos de descontaminación evitando problemas subsecuentes como la generación de lodos químicos, y proporcionando un uso alternativo a materiales considerados como desechos (Tejada, Villabona, & Garcés, 2014).

Se realizaron varias investigaciones sobre el uso de “biochar” como medio filtrante para la remoción de ciertos contaminantes en el agua, incentivando su uso en la industria, ya que es un material que permite no solo eliminar los contaminantes, sino también darle un tratamiento a los desechos agrícolas que antes no tenían ninguna utilidad; entre las ventajas que presenta el “biochar”, en comparación con las técnicas convencionales se tiene: bajo costo, alta eficiencia, minimización de productos químicos y lodos biológicos (Martínez & Bohórquez, 2017).

El biocarbón es un material carbonoso complejo con numerosos parámetros físicos y químicos que controlan su reactividad hacia especies inorgánicas y orgánicas en disolución acuosa (Sik-Ok, Bolan, CW-Tsang, & Novak, 2019). El impacto positivo del biocarbón se atribuye principalmente a las propiedades superficiales que se caracterizan por una gran superficie específica y una estructura muy porosa. Posee una alta porosidad con micro, meso y macro poros, cuyos tamaños van de <2 nm, 2-50 nm y >50 nm, respectivamente por lo cual lo han comparado con un "arrecife subterráneo" (Escalante et al., 2016) y se puede utilizar como medio granular en la filtración convencional (Inyang & Dickenson, 2015). Gracias a esta porosidad es capaz de adsorber micro plásticos grandes (1 - 5mm), que afectan principalmente a peces, y micro plásticos pequeños (1µm - 1mm), que afectan a organismos filtradores y pequeños invertebrados (Campoy & Beiras, 2019).

El uso de la adsorción en la remoción de contaminantes en disolución acuosa mediante biomasa residual es aplicable a estos procesos de descontaminación evitando problemas subsecuentes como la generación de lodos químicos, y generando un uso alternativo a materiales considerados como desechos (Tejada, Villabona, & Garcés, 2014).

Siipola, Pflugmacher, Romar, Wendling, & Koukkari (2020) concluyeron en su investigación que el mecanismo de adsorción de los micro plástico mediante el "biochar" sigue siendo desconocido, pero la existencia de poros más largos puede facilitar la retención de micro y nanoplásticos. En partículas largas, el mecanismo de adsorción es probablemente una unión física entra las partículas de biocarbón, por lo tanto, la superficie áspera del "biochar" es un beneficio.

Según Carriaso, Saavedra, & Molina (2010) evidenció que el "biochar" posee una alta adsortividad lo cual explicar por qué este material es utilizado exitosamente en procesos de purificación de aguas como el propuesto. El factor clave que facilita la adsorción de micro plásticos es el área del adsorbente, entre mayor sea el área mayor será la efectividad.

4.3 Propuesta de un tratamiento de remoción de micro plásticos aplicado a las aguas residuales domésticas.

Antes de emplear el "biochar" en cualquier tratamiento de adsorción para remoción de microplásticos se evidenció que es necesario realizar una serie de análisis para optimizar

su eficiencia. En la literatura se menciona que es favorable trabajar con partículas con un tamaño de aproximadamente 50 % de partículas < 5mm y 50 % < 2cm, determinadas mediante un análisis granulométrico. Se recomienda además hacer el análisis del "biochar", teniendo en cuenta los elementos: C, H, N, S y O (Siipola, Pflugmacher, Romar, Wendling, & Koukkari, 2020)

Adicionalmente, se recomienda realizar el balance de masa correspondiente para poder optimizar luego la remoción de los microplásticos con el uso del "biochar", independientemente de la metodología a emplear. El balance de materia es un método matemático que se basa en la ley de conservación de la materia, que establece que la masa de un sistema cerrado permanece siempre constante (Medina, 2017). La masa que entra en un sistema debe, por lo tanto, salir del sistema o acumularse dentro de él, como lo indica la ecuación 1.

$$E + P = A + C + S \quad (1)$$

Siendo:

- E, entrada de materia
- P, producción de materia
- A, acumulación de materia
- C, consumo de materia
- S, salida de materia

Adicionalmente, se debe calcular el área superficial del material a través de la aplicación de la metodología descrita por (McCabe, Smith, & Harriott, 1991) usando la ecuación 2.

$$A = \frac{6m}{\Phi_s \rho_p D_p} \quad (2)$$

Donde A: área superficial

M: masa total

ρp: densidad de las partículas

Φs *: factor de esfericidad de las partículas

Dp: Diámetro de la partícula

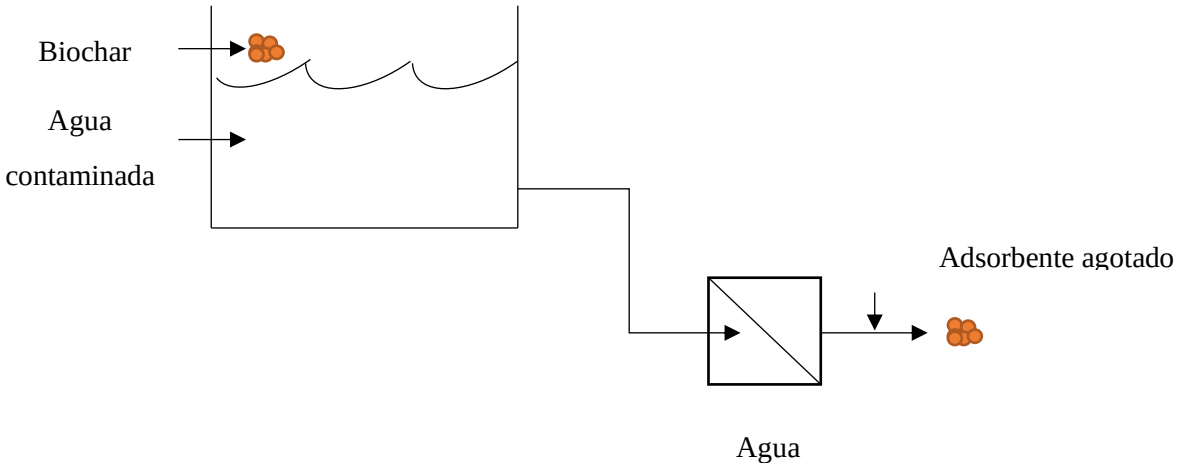
Teniendo en cuenta todos los parametros anteriormente mencionadas se analizaron alternativas de filtración con la finalidad de elegir un sistema adecuado para la remoción de microplasticos en aguas residuales domesticas.

Se tomaron en cuenta tres alternativas: el sistema en “batch”, el sistema en “batch” de tanque agitado y el sistema de lecho empacado.

4.3.1 Sistemas batch

En el tratamiento en “batch” de una sola etapa, el adsorbente fresco se pone en contacto con el agua contaminada en un contenedor completamente mezclado. Después del tiempo de contacto requerido, el adsorbente es separado del fluido por filtración. En este punto el agua purificada es de la calidad deseada y el adsorbente utilizado es desechado (Garcia, 2014).

Figura 5. Sistemas de Filtración en "batch



Fuente: Autores

Un reactor de tipo "batch" o discontinuo tiene la característica de que el sustrato es adicionado al inicio del proceso de adsorción y el "biochar" con los micro plásticos retenidos se separa luego de un lapso determinado. En el reactor semicontinuo el sustrato se adiciona en intervalos de tiempo conocidos, ya sea de forma automática o de forma manual. Este tipo de reactor aprovecha las ventajas tanto de un reactor discontinuo como de un reactor continuo y mejora su rendimiento (Grau & Puigjaner, 1999).

Para este tipo de filtros "batch" se consideró oportuno utilizar 20 g de "biochar" por cada 5 L de agua (Siipola, Pflugmacher, Romar, Wendling, & Koukkari, 2020).

Capacidad de los filtros "batch"

Para el cálculo de la capacidad de los filtros "batch" se empleó la metodología planteada por (Pare & Enrique, 2019), según la ecuación 3.

Área filtrante:

$$A = \pi . r^2 \tag{3}$$

Capacidad por hora: Este valor se calcula a través de la expresión de la ecuación 4.

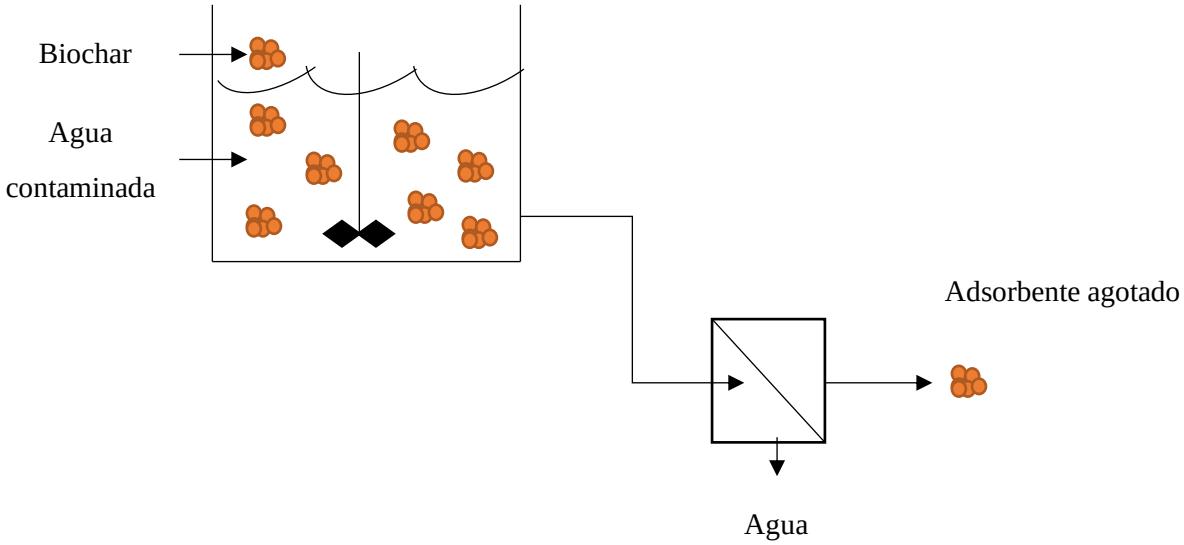
$$Capacidad\ por\ hora = \frac{litros\ que\ permite\ filtrar\ el\ área}{tiempo\ de\ operación} \tag{4}$$

Para su fabricación Pare & Enrique (2019) recomendaron:

- Que los equipos deben ser construidos con materiales metálicos fuertes y sólidos.
- Las tapas y ranuras deben estar con gomas para sellar herméticamente y evitar fugas.

En el sistema "batch" con agitación el adsorbente se mezcla con el agua contaminada que será tratada y la mezcla es luego agitada. La agitación distribuye al adsorbente a través del medio dispersante de los micro plásticos y finalmente, dicho adsorbente es después separado del agua purificada por filtración (Garcia, 2014).

Figura 6. Sistema de filtración en "batch" con agitación.



Fuente: Autores

Este sistema se corresponde a un recipiente capaz de realizar una agitación y de mantener un ambiente controlado, en donde se desarrollen los procesos fisicoquímicos, bajo condiciones específicas, con la finalidad de obtener los mejores resultados (Astudillo, 2010). Consiste en poner en contacto el adsorbente (biochar) con el adsorbato (micro plásticos) en fase líquida en el recipiente que se someterá a agitación; en este caso se llevará a cabo el proceso de biosorción del microplástico en el agua a tratar (particularmente agua residual doméstica). Según Siipola, Pflugmacher, Romar, Wendling, & Koukkari (2020) consideró oportuno agitar 20 g de "biochar" por cada 5 L de agua.

4.3.1.1 Ventajas de utilizar sistemas "batch"

Debido a que sus ventajas radican en que los costos de operación son bajos, no se requiere mano de obra especializada, tienen un control automático en su producción o ejecución, brindan óptimas condiciones de agitación siempre y cuando fase líquida no sea demasiado viscosa y, por último, logran que en el interior del tanque se produzca una buena mezcla de los materiales (Pare & Enrique, 2019).

4.3.1.2 Desventajas de utilizar sistemas "batch"

Para sistemas de adsorción es solo útil para concentraciones bajas de microplásticos ya que al ser un sistema estático sufre de problemas de saturación.

Para tratamiento de aguas residuales son poco prácticos pues se necesita tener entrada y saluda de agua para que se puedan tratar volúmenes de agua residuales considerables.

La calidad de filtración no es la misma siempre, varía dependiendo de la velocidad de agitación cuando hay problemas técnicos y también depende de mucho de la temperatura del agua residual (Abdelrady, Sharma, Sefelnasr, Abogbal, & Kennedy, 2019).

4.3.2 Sistema continúo

En el sistema continuo el agua contaminada ingresa al lecho empacado con "biochar", pasa por un proceso de filtración simple y de retención de los microplásticos mediante otros mecanismos competitivos para finalmente obtener el agua descontaminada.

Figura 7. Sistema de filtración con lecho empacado



Fuente: Autores

El proceso de adsorción de contaminantes en columnas de lecho fijo es una metodología que difiere de la adsorción por "batch", ya que el proceso en lecho fijo no funciona bajo condiciones de equilibrio, porque continuamente la columna es alimentada con el agua contaminada, de tal forma que se establece un proceso de transferencia de masa permanente, entre la fase móvil que contiene el absorbible (microplástico) y la fase sólida del lecho adsorbente (biomasa pirolizada) (Taboada, Arrieta, Guerrero, & Ortega, 2013).

La filtración es un proceso de separación física donde se pretende separar sólidos de fluidos (tanto líquidos como gases) mediante la utilización de medios permeables que son capaces de retener determinadas partículas sólidas (Gomez, 2019).

Dentro de los sistemas de filtración más comúnmente utilizados están:

- Filtros de carbón activado (adsorbente), el cual dispone de una gran área superficial de adsorción de compuestos de diversa naturaleza. Este proceso es

económico, con un sistema de operación sencillo, sin embargo, necesita de un mantenimiento para evitar su obstrucción (Carriaso, Saavedra, & Molina, 2010).

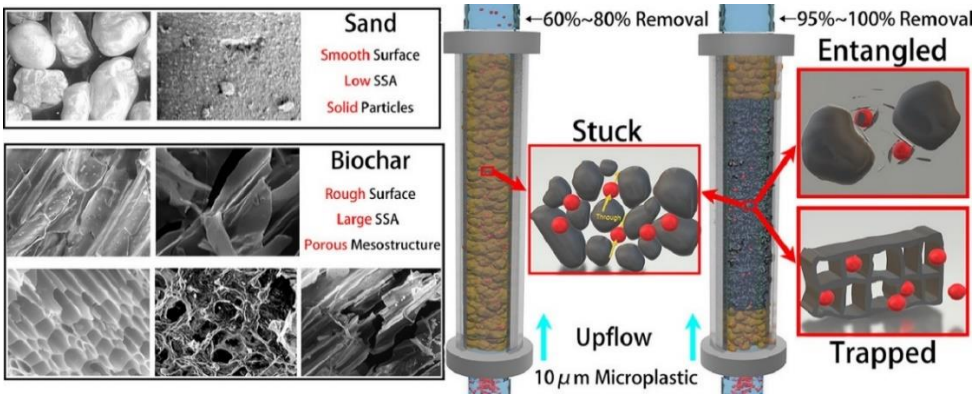
- Membranas porosas, con diferentes tamaños de poros finos, como pueden ser, macro poros (> 50mn), meso poros (de 2 a 50 nm) y microporos (<2nm). Estas membranas son utilizadas en microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y diálisis (Universidad de los Andes, 1999).

En filtros donde se debe retener las partículas pequeñas (entre 0.3 y 5 μm) y en baja concentración (menor de 0.1 g. sólidos/l), se aplica en los procesos de depuración de aguas. El flujo de circulación del agua, cuando el filtro está limpio, se puede calcular mediante la ecuación de Ergun. El funcionamiento correcto corresponde a caudales de carga entre 5 y 50 m^3 agua/ (m^2 sección transversal. h), aunque en algunos casos se puede funcionar con 0.1-0.2 m^3/h, cuando hay sólidos muy finos (menores que 1 micra) (Martín, Salcedo, & Front, 2011).

Este es un proceso de purificación del agua, que consiste en realizar una circulación del mismo por medio de un lecho poroso de un medio filtrante, mejorando la calidad del agua. En esta técnica se puede generar una película biológica que ayuda a retener materia orgánica, mientras que por medio de acción física la materia orgánica en suspensión queda retenida. Los lechos tendrán que limpiarse periódicamente mediante circulación inversa del fluido (Martín, Salcedo, & Front, 2011).

Según Wang, (2020) en la filtración con “biochar”, las esferas microplásticas son inmovilizadas a trasvés de tres mecanismos morfológicamente controlados que se conceptualizan como “atascado”, “atrapado” y “enredado” como se puede apreciar en la figura 8.

Figura 8. Mecanismos de filtración de "biochar".



Tomado de: Filtración de esferas microplásticas por biocarbón: eficiencia de remoción y mecanismos de inmovilización (Wang, 2020). (Ziheng Wang, 2020)

Una vez establecidos como parámetros de diseño la velocidad de filtración, el diámetro del filtro, las alturas en las que se pasaría el agua y el lapso que debe cumplir el contacto del agua con el "biochar", se inició calculando el área del filtro a través de la ecuación 5 (los decimales son con puntos).

$$A = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \tag{5}$$

Una vez calculada el área se debe establecer el caudal que debía pasar por los filtros, teniendo en cuenta que la velocidad de filtración se puede fijar como 2 m3 /m2 h el caudal se calcula a través de la ecuación 6.

$$Q = v.A \tag{6}$$

Como la altura de fondo se estableció de 0,08 m y las alturas del medio se establecieron de 0,45 m y 0,55 m, una muestra del cálculo para la altura media a partir de la altura del lecho de 0,45 m debe ser como se indica en la ecuación 7.

$$h_m + h_f = h_{\frac{1}{2}} \tag{7}$$

Para obtener la altura total del filtro, se recomienda emplear la ecuación 8.

$$hT = 2(h1/2) \tag{8}$$

Finalmente, para hallar el volumen total del filtro se utiliza la ecuación 9.

$$V = A * ht \tag{9}$$

Con el fin de comprobar el tiempo de retención, se realizaría el cálculo según la ecuación 10.

$$tR = \frac{V}{Q} \tag{10}$$

Dichos calculos son importantes para lograr las condiciones adecuadas que influyen de manera directa en la eficacia que se quiere lograr para obtener una buena remoción.

Según Bendeck, Orellana, & Schente (2010) indicaron que para una buena fabricación de un filtro de lecho empacado es necesario utilizar los equipos descritos en la Tabla 4.

Tabla 4: *Materiales adecuados para la construcción de un filtro con lecho fijo.*

Equipo/ accesorio	Características
Columna	Material: Polipropileno Reforzado transparente.
	Altura: 0.75 m
	Diámetro: 0.09 m
Bomba	Potencia: ½ hp
	Válvula Bola
	Manómetro
Tanque	Material: Hierro
	Altura: 0.45 m
	Diámetro: 0.16 m
	Capacidad: 0.009 m3
Tubo de reciclo	Material: PVC
	Altura: 1.65 m D
	Diámetro: 0.01 m
Ingreso superior del agua	Válvula bola
	Manguera plástica
Desagüe ingreso superior	Válvula de bola
	Manguera plástica
Codos	4 codos de 90º ¼”
	1 codo 90º 4”
Uniones	11 Bushing ¼”
	uniones T ¼” 1

	union T 4”
Ingreso del agua a la bomba	Manguera plástica
	Válvula Check

Tomado de: Diseño, construcción y pruebas de funcionamiento de lecho empacado para laboratorios de flujo de fluidos (Bendeck, Orellana, & Schente, 2010).

El comportamiento de un lecho relleno viene caracterizado principalmente por las siguientes magnitudes (Bendeck, Orellana, & Schente, 2010):

Porosidad del lecho o fracción de huecos, ε: Es la relación que existe entre el volumen de huecos del lecho y el volumen total del mismo (huecos más sólidos).

Esfericidad de una partícula, φ: es la medida más útil para caracterizar la forma de partículas no esféricas e irregulares.

Tamaño de partículas, dp: Si la partícula es esférica se mide su diámetro. La resistencia al flujo de un fluido a través de los huecos de un lecho de sólidos es la resultante del rozamiento total de todas las partículas del lecho.

Mecanismo de fluidización: La velocidad del fluido para la que se alcanzan estas condiciones se denomina velocidad mínima de fluidización (Umf) y el lecho de partículas se conoce como lecho fluidizado.

La porosidad del lecho cuando comienza la fluidización recibe el nombre de porosidad mínima de fluidización (ε mf). Esta porosidad depende de la forma y el tamaño de las partículas (Levenspiel, 1993).Para partículas esféricas ε mf está comprendida entre 0,4 µm y 0,45µm, aumentando ligeramente al disminuir el tamaño de las partículas. En ausencia de datos para materiales específicos, se puede estimar ε mf, mediante las siguientes ecuaciones empíricas sugeridas por Wen y Yu (Levenspiel, 1993):

$$\frac{1}{\emptyset\varepsilon^3} \cong 14 \; y \; \frac{1-\varepsilon_{mf}}{\emptyset\varepsilon^3{}_{mf}} \cong 11 \qquad (11)$$

Pérdida friccional para lechos rellenos: la pérdida friccional para flujo a través de lechos rellenos puede calcularse utilizando la expresión de Ergun (ecuación 12).

$$\sum F = \frac{150\mu.\mu_0.L}{d^2{}_p p} \cdot \frac{(1-3)^2}{\varepsilon^3} + \frac{1.75\mu^2{}_0.L}{d_p} \cdot \frac{(1-\varepsilon)}{\varepsilon^3} \quad (12)$$

Donde:

ρ : Densidad del fluido

μ : Viscosidad del fluido d

p: Diámetro de partícula

L: Altura de lecho

ε : Porosidad del lecho

μ_0 : Velocidad superficial del fluido. Velocidad que tendría el fluido si el recipiente no contuviera sólidos. ($\mu_0 = \frac{Q}{S}$)

Número de Reynolds: Se calcula mediante la ecuación 13.

$$Re = \frac{P_f.d_p.v}{\mu_f} \quad (13)$$

Velocidad Mínima de fluidización

Las siguientes expresiones (ecuación 14 y 15) sirven para encontrar la velocidad mínima de fluidización según el número de Reynolds (Levenspiel, 1993):

$$U_{mf} = \frac{d_p^2(P_s - P_1) * g}{1650 * \mu} \quad (14)$$

$$U^2{}_{mf} = \frac{d_p(P_s - P_1) * g}{24.5 * p_1} \quad (15)$$

4.3.2.1 Ventajas de utilizar sistemas de lecho fijo.

Una característica muy importante de este proceso es su manejo simple por la facilidad con la que se pueden transportar los sólidos hacia dentro y hacia fuera del equipo. (Bendeck, Orellana, & Schente, 2010).

Tiene una capacidad de remoción de micro plásticos grandes del 100% (Siipola, Pflugmacher, Romar, Wendling, & Koukkari, 2020)

4.3.2.2 Desventajas de utilizar sistemas de lecho fijo.

De la misma forma existen ciertas características del proceso muy desventajoso, como la aglomeración de las partículas que es una muy importante, ya que esto limita el uso del proceso a cualquier tipo de partícula (Bendeck, Orellana, & Schente, 2010).

De acuerdo con Siipola, Pflugmacher, Romar, Wendling, & Koukkari (2020) es necesario desarrollar un conocimiento más detallado acerca de la retención de micro plásticos en aguas residuales para conocer más a fondo los mecanismos que se deben tomar en cuenta al momento de realizar un tratamiento. Después de analizar las tres alternativas para la remoción de micro plásticos con un medio filtrante de "biochar y tomando en cuenta la cantidad de literatura investigada se consideró que el sistema de lecho fijo es el más favorable para la aplicación en un sistema de tratamiento de aguas domésticas. Es de fácil manejo y la capacidad de remoción de microplásticos es de gran eficiencia. Además, es de bajo por lo que puede ser construido en los hogares como pre-tratamiento antes de que las aguas residuales domésticas sean vertidas hacia el sistema de alcantarillado.

.

CONCLUSIONES

El protocolo para la obtención de “biochar” a partir de bagazo de caña y residuos de Pigüe debe considerar pirólisis lenta y condiciones de temperatura superiores a 475 e inferiores a 600°C por un tiempo de al menos 3 horas, garantizando una atmósfera controlada en ausencia de oxígeno.

Las propiedades fundamentales del “biochar” que permiten la remoción de microplásticos presentes en aguas residuales, son las relacionadas con su capacidad como medio filtrante ya que se caracteriza por una gran superficie específica y una estructura muy porosa, capaz de adsorber microplásticos grandes (1 - 5mm), que afectan principalmente a peces, y micro plásticos pequeños (1µm - 1mm), que afectan a organismos pequeños invertebrados.

El mecanismo de adsorción de los microplásticos mediante el “biochar” sigue siendo desconocido, pero la existencia de poros más largos en el adsorbente puede facilitar la retención, siendo su área superficial el factor clave para la remoción.

El tratamiento más adecuado de remoción de microplásticos con “biochar” sería en continuo a través de un sistema de lecho fijo debido a la facilidad con la que se pueden transportar los sólidos y a que se pudiera lograr una capacidad de remoción de microplásticos en las aguas residuales domésticas cercana al 100%.

RECOMENDACIONES

Aprovechar los residuos de bagazo de caña de las paneleras y del procesamiento del Pigüe para la producción de un “biochar” que pueda ser utilizado para la remoción de microplásticos.

Realizar experimentalmente las pruebas necesarias con vistas a obtener datos reales y precisos que contribuyan a la implementación de sistemas de remoción de microplásticos con el uso de “biochar”.

Implementar el tratamiento para la remoción de microplásticos con “biochar” en continuo a través de un sistema de lecho fijo en las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, así como en potabilizadoras y demás plantas de tratamiento de aguas.

REFERENCIAS

Abdelrady, A., Sharma, S., Sefelnasr, A., Abogbal, A., & Kennedy, M. (2019). Investigating the impact of temperature and organic matter on the removal of selected organic micropollutants during bankfiltration: A batch study. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(1), 102904.

Abenza, D. P. (2012). *Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta.* Barcelona, España: Universidad Autónoma de Barcelona.

Ares, M. G. (2016). *Los biochar: propiedades, producción y aplicaciones*. (Doctoral dissertation, Universidad de Santiago de Compostela).

Balboa, M. A. (2005). *Biomasa arbórea y estabilidad nutricional de los sistemas forestales de Pinus pinaster Ait., Eucalyptus globulus Labill. Y Quercus robur L. En Galicia.* Doctoral dissertation, Universidade de Santiago de Compostela).

Bendeck, C., Orellana, C., & Schente, H. (2010). *Diseño, construccion y pruebas de funcionamiento de lecho empacado para laboratorios de flujo de fluidos* (Tesis de Pregrado). Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

Bendix, J., & Lauer, W. (1992). Die Niederschlagsjahrszeiten in Ecuador und Ihre Klimadynamische Interpretation. *Erdkunde 46*, 118–134.

Campoy, P., & Beiras, R. (2019). Efectos ecológicos de macro-, meso- y microplásticos. *Environmental Monitoring and Assessment, 189*(11), 581.

Carriaso, J. G., Saavedra, M. J., & Molina, M. F. (2010). Propiedades adsortivas de un carbón activado y determinación de la ecuación de Langmuir empleando materiales de bajo costo. *Educación química*, *21*(3), 224-229.

CODIGO ORGANICO DEL AMBIENTE . (2017). *Código Orgánico del Ambiente.* Asamblea Nacional. Manabí, Ecuador. Recuperado de https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf

Echeverria, R. (2017). *Efectos de la Aplicación al Suelo de Biochars obtenido a partir de diversos tipos de madera* (Tesis de maestria). Universitat de Barcelona, Barcelona, España.

Escalante, A. E., López, G. P., Moreno, C. H., Collado, J. L., Alves, J. C., Pacheco, E. V., & Barra, J. D. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra latinoamericana*, *34*(3), 367-382.

FAO. (2017). *Los microoplasticos en los sectores de acuicultura y pezca ¿De que deberiamos preocuparnos?*. Roma. Recuperado de http://www.fao.org/3/ca3540es/CA3540ES.pdf

Forero, A ., & Dominguez, L. (2018). *Evaluación del biochar elaborado a partir de bagazo de caña en filtros con retro lavado para la adsorción y desorción de aniones (fosfatos, sulfatos y nitratos) en aguas potenciadas* (Tesis de pregrado). Universidad de la sAlle, Bogotá, Colombia.

Garcia, C. (2014). *Clasificación y propiedades de los materiales quimicos en de adsorción.* Recuperado de https://es.slideshare.net/CesarRenteria2/adsorcion-34636053

Gomez, P. (2019). *Diseño de sistema de regeneración de 1000 m3/d de agua residual incluyendo separación e identificación de microplásticos* (Tesis de maestria).Universitat politécnica de Valencia, Valencia, España.

González, V., Bravo, C., Romero, M., Andrade-Yucailla, S., Andino, M., Valle, A., ... & Andrade-Yucailla, V. (2019). Evaluación de la calidad de los suelos en cultivares de caña de azúcar (Saccharum officinarum L.) en la parroquia Fátima provincia de Pastaza. *Ciencia y Tecnología,* 12(2), 15-22.

Grau, D., & Puigjaner, L. (1999). Estudio del comportamiento de reactores discontunios y semicontunios: Modelización y comprobación experimental.Universitat Politécnica de Catalunya: 1ra Edición.

Hurtado, E. A. (2013). Potencial de Uso de Piptocoma discolor (Kunth) Pruski en Sistemas Silvopastoriles. *Ingenierías&Amazonía*, 6(1).

Iglesias, S. (2019). *Aplicación de biochar a partir de biomasa residual de ecualipto para evaluar la productividad con maiz en el austro ecuatoriano* (Tesis Doctoral). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

INAMHI. (2020). *INAMHI.* Boletín climatológico mensual, Ecuador. Recuperado de http://www.serviciometeorologico.gob.ec/meteorologia/boletines/bol_men.pdf

Inyang, M., & Dickenson, E. (2015). The potential role of biochar in the removal of organic and microbial contaminants from potable and reuse water: a review. *Chemosphere*, *134*, 232-240.

Levenspiel, O. (1993). *Flujo de Fluidos e Intercambio de Calor.* Barcelona, España: Reverté

Llivigañay, J., & Villarroel, J. (2019). *Comparación de la fertilidad del suelo en regeración del Pigüe (Piptocoma discolor) de 1, 5y 7 años en bosque siempre verde piemontano la Amazonía Ecuatoriana* (Tesis de pregrado). Universidad Estatal Amazónica, Pastaza, Ecuador.

MAE. (2009). Estudio para determinar la abundancia de Pigüe y otras especies potenciales para la industria de pallets y cajonería en la Provincia de Pastaza. *MAE*.

Martín, I., Salcedo, R., & Front, R. (2011). MECÁNICA DE FLUIDOS Tema5. Operaciones separación sólido-fluido. *Universidad de Alicante,* 15-27.

Martinéz, A., & Bohórquez, D. (2017). *Evaluación de la eficiencia de biochar producido a partir de pirólisis lenta de bagazo de caña como medio filtrante para retención de fenoles en matriz acuosa* (Tesis de pregrado).Universidad de la Salle, Bogota, Colombia.

McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. (1991). *Unit operations of chemical engineering* (Vol. 5, p. 154). New York: McGraw-hill.

Medina, E. (2017). *Issuu: El balance de materia y energía.* Recuperado de https://issuu.com/edgarcmedina/docs/balance-de-materia-y-energ__a.docx

Mohan, D. S. (2014). Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent–a critical review. *Bioresource Technology, 160*, 191-202.

Morales, J. (2011). *Impacto Ambiental de la Actividad Azucarera y Estrategias de Mitigacion* (Tesis de maestria) . Universidad Veracruzana, Veracruz, Mexico.

OEFA. (2014). *Fiscalización ambiental en residuos sólidos de gestión municipal provincial: informe 2013-2014.* Perú.

Pare, Z., & Enrique, C. (2019). *Construcción y evaluación de un filtro batch de presión de aire para concetrado tamaño laboratorio* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.

Pastor, C. B., & Agulló, D. V. (2019). Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en la salud pública. *Esp Salud Pública, 93,* e201908064.

Pernalete, Z., Piña, F., Suárez, M., Ferrer, A., & Aiello, C. (2008). *Fraccionamiento del Bagazo de caña de azúcar mediante tratamiento amoniacal: Efecto de la humedad del Bagazo y la carga de amoníaco.* Bioagro. Recuperado de https://www.redalyc.org/pdf/857/85720101.pdf

Pivokonsky, M., Cermakova, L., Novotna, K., Peer, P., Cajthaml, T., & Janda., V. (2018). Occurrence of microplastics in raw and treated drinking water. *Science of the Total Environment, 643,* 1644-1651.

Pozas, J. (2012). *Proyecto básico de una planta de biomasa de Eucalyptus globulus en España* (Tesis de pregrado). Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, España.

Rebolledo, A. E., López, G. P., Moreno, C. H., Collado, J. L., Alves, J. C., Pacheco, E. V., & Barra, J. D. E. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Revista terra latinoamericana*, *34*(3), 367-382.

Sarria, R. A., Gallo, J. A., & Gallo, R. A. (2016). La gran problemática ambiental de los residuos plásticos: Microplásticos. *Journal de Ciencia e Ingenieria, 8*(1), 21-27.

Segura, D. (2018). *Control de calidad de biocarbón para la producción de Terra Preta* (Tesis de pregrado). Instituto tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica .

Siipola, V., Pflugmacher, S., Romar, H., Wendling, L., & Koukkari, P. (2020). Low-Cost Biochar Adsorbents for Water Purification Including Microplastic Removal, *Applied Sciences*, *10*(3), 788.

Sik-Ok, Y., Bolan, N., CW-Tsang, D., & Novak, J. (2019). *Biocarbón de biomasa y residuos: Fundamentos y aplicaciones.*

Tejada, C., Villabona, Á., & Garcés, L. (2014). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecnológicas*, 18(34), 109-123.

Toapanta, A. (2017). *Análisis del bagazo de la caña de azúcar como filtro en el tratamiento de aguas residuales* (Tesis de pregreado). Universidad Técnica de Ambato, Tungurahua, Ecuador.

Torres, P. (2012). Perspectivas del tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas en paises en desarrollo. *EIA*, 9(18), 115-129.

Tortosa, G. (2015). *Compostando Ciencia.* Recuperado de http://www.compostandociencia.com/2015/01/que-es-el-biochar/

UNESCO. (2017). *Aguas Residuales recurso desaprovechado.* Paris, Francia: 1ra Edición.

Universidad de los Andes. (1999). *Clasificación de las membranas y de los procesos que utilizan*. Venezuela, Venezuela: 2da Edición.

Valladares, M. G., Cárdenas, C. V., Cruz, P. B., & Melgoza R. M. (2017). Adsorbentes no-convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, *16*(31), 55-73.

Villalba, S. (2019). *Determinación de la viabilidad técnica y económica de la combustión del Pigüe (Piptocoma discolor) para su uso como combustible en la Provincia de Pastaza* (Tesis de Pregrado). Universidad Estatal Amazónica, Pastaza, Ecuador.

Wang, M. (2020). *Filtración de esferas microplásticas por biocarbón: eficiencia de remoción y mecanismos de inmovilización.*