UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Trabajo de titulación previo
a la obtención del título de
Ingeniera Ambiental

TRABAJO EXPERIMENTAL:

"ELABORACIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DE ESTIÉRCOL PORCINO Y VACUNO Y SU APLICACIÓN EN AGUAS CONTAMINADAS CON MERCURIO OBTENIDAS EN PROCESOS MINEROS ARTESANALES EN EL SECTOR VIZCAYA-CANTÓN ZARUMA"

AUTORAS:

KARLA ESTEFANIA VALDIVIEZO VEGA

JULISSA ESTEFANIA ANDRADE CRESPO

TUTOR:

ING. JOSÉ IGNACIO ULLOA CUZCO, MSc.

CUENCA - ECUADOR

2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotras, Karla Estefania Valdiviezo Vega con documento de identificación Nº 0107592115 y Julissa Estefania Andrade Crespo con documento de identificación Nº 0104367255, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **"ELABORACIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DE ESTIÉRCOL PORCINO Y VACUNO Y SU APLICACIÓN EN AGUAS CONTAMINADAS CON MERCURIO OBTENIDAS EN PROCESOS MINEROS ARTESANALES EN EL SECTOR VIZCAYA-CANTÓN ZARUMA"**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniera Ambiental,* en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autoras nos reservamos los derechos de la obra antes cedida. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, diciembre del 2020

Karla Estefania Valdiviezo Vega

C.I. 0107592115

Julissa Estefania Andrade Crespo

C.I. 0104367255

CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **"ELABORACIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DE ESTIÉRCOL PORCINO Y VACUNO Y SU APLICACIÓN EN AGUAS CONTAMINADAS CON MERCURIO OBTENIDAS EN PROCESOS MINEROS ARTESANALES EN EL SECTOR VIZCAYA-CANTÓN ZARUMA"**, realizado por Karla Estefania Valdiviezo Vega y Julissa Estefania Andrade Crespo, obteniendo el *Trabajo Experimental* que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, diciembre del 2020

Ing. José Ulloa Cuzco, MSc.

C.I. 0102029865

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotras, Karla Estefania Valdiviezo Vega con documento de identificación Nº 0107592115 y Julissa Estefania Andrade Crespo con documento de identificación Nº 0104367255, autoras del trabajo de titulación: **"ELABORACIÓN DE BIOCHAR A PARTIR DE ESTIÉRCOL PORCINO Y VACUNO Y SU APLICACIÓN EN AGUAS CONTAMINADAS CON MERCURIO OBTENIDAS EN PROCESOS MINEROS ARTESANALES EN EL SECTOR VIZCAYA-CANTÓN ZARUMA"**, certificamos que el total contenido del *Trabajo Experimental* es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, diciembre del 2020

Karla Estefania Valdiviezo Vega
C.I. 0107592115

Julissa Estefania Andrade Crespo
C.I. 0104367255

Agradecimiento

Primeramente queremos agradecer a Dios por permitirnos culminar esta etapa importante, gracias por siempre escuchar nuestras peticiones en los diferentes obstáculos que se presentaron a lo largo de nuestra carrera universitaria.

Agradecemos también a nuestras familias por ser el pilar fundamental en nuestras vidas y darnos el apoyo incondicional día a día.

De la misma manera agradecemos a la Universidad que ha sido nuestro segundo hogar, gracias por dejarnos muchas enseñanzas aprendidas a lo largo de la carrera y sobretodo educarnos como buenos cristianos y honrados ciudadanos.

Nuestros agradecimientos para la Fundación Cordillera Tropical, quienes de una u otra manera nos apoyaron con los equipos necesarios para llevar a cabo nuestra investigación.

Finalmente queremos dar las gracias a nuestro director de tesis, Ing. José Ulloa siempre estaremos agradecidas con usted por estar desde el inicio de la carrera con nosotras, por ser un excelente docente y más que todo un buen amigo que nos ha tenido mucha paciencia, cariño y respeto.

Karla Valdiviezo Vega

Julissa Andrade Crespo

Dedicatoria

Dedico este proyecto con todo mi corazón primeramente a Dios, mi Virgen del Cisne, San Antonio y mi Madre Dolorosa, por jamás abandonarme en cada pasito de mi educación, vida y salud, a mis papitos, Carlos y Mery que, gracias a su gran esfuerzo, apoyo y dedicación, han hecho que sea posible cumplir con este objetivo de vida que me eh planteado, muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que incluye este, me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al fin de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

También quiero dedicar este trabajo a mis hermanos, mis sobrinos, abuelitos y a una personita muy importante en mi vida, que, con sus palabras de aliento, han logrado llenarme el corazón de fuerza y darme esos ánimos que necesitaba para no rendirme.

Dedico este trabajo por último a quienes de una u otra manera estuvieron presentes no solo en la realización de este proyecto si no que han estado en mi vida haciéndome la persona que soy.

Karla Valdiviezo Vega

DEDICATORIA

A Dios y la Virgen por siempre guiar y bendecir cada uno de mis pasos.

A mis padres y abuelos quienes son mi principal motivación y sobretodo mi apoyo en todo momento, por siempre aconsejarme para no rendirme y cumplir cada una de mis metas, cada uno de mis logros se los dedico como muestra de mi admiración y gratitud.

A mis tíos por su apoyo y ayuda incondicional, siempre estaban pendientes de lo que necesitaba y eran mi compañía en las largas noches de trabajo.

Julissa Andrade Crespo

RESUMEN

En el Ecuador es necesario aplicar nuevos métodos de gestión de residuos ganaderos debido a que estos no son tratados de forma eficiente, por lo que se vio necesario plantear esta investigación con la posibilidad de aprovechar estos residuos mediante la elaboración de biochar.

Por tal motivo, se ha buscado desarrollar un nuevo material adsorbente de metales pesados, producido a partir del estiércol porcino y vacuno mediante un proceso de pirólisis lenta a una temperatura de 400°C y determinar su eficiencia en la descontaminación de aguas con mercurio procedentes de la minería artesanal.

Cabe destacar que gracias a las propiedades adsorbentes que el biochar posee, permite la retención de contaminantes como es el mercurio, de esta forma se determinó la carga y tiempo de residencia óptimo con el cual se tiene mayor adsorción de este metal pesado.

En el sector Vizcaya del Cantón Zaruma, sitio donde se ejecutó nuestro proyecto se logró alcanzar resultados favorables en la descontaminación de aguas residuales de la minería artesanal.

ABSTRACT

In Ecuador it is necessary to apply new methods of handling livestock waste because there are not treated efficiently. Therefore, it is necessary to propose this research with the possibility of taking advantage of these residues through the production of biochar.

For this reason, it has sought to develop a new adsorbent material of heavy metals, produced from pig manure and cow manure through slow pyrolysis process a 400°C of temperature and determine your efficiency in the decontamination of waters with mercury from artisanal mining.

Notably thanks to the adsorbent properties that biochar has, it allows the retention of contaminants like the mercury, of this form, it was determined the charge optimal and residence time, as it is obtained higher adsorption of this heavy metal.

In the Vizcaya sector of Zaruma canton, site where realised our project, it was possible to reach favorable results in the wastewater decontamination of the artisanal mining.

Tabla de Contenido

Capítulo 1 1

1.1. Antecedentes 1

1.2. Justificación 5

1.3. Objetivos. 7

1.3.1. Objetivo General. 7

1.3.2. Objetivos Específicos. 7

1.4. Marco teórico 8

1.4.1. Adsorción 8

1.4.2. Pirólisis 9

1.4.3. Biochar. 10

1.4.4. Residuos 14

1.4.5. Gestión y valorización de los residuos. 17

1.4.6. Minería artesanal 19

1.4.7. Mercurio 24

1.4.8. Legislación Ecuatoriana 27

1.4.9. Microscopia electrónica de barrido (SEM) 33

Capítulo 2 34

2.1. Materiales y métodos 34

2.1.1. Fase uno 34

2.1.2. Fase dos 37

2.1.3. Fase tres 42

Capítulo 3 45

3.1. Resultados 45

3.1.1. Humedad de la materia prima 45

3.1.2. Producción del biochar 46

3.1.3. Análisis de agua 46

3.1.4. Caracterización del Biochar 47

3.1.5. Determinación de carga óptima 53

3.1.6. Determinación de tiempo óptimo 55

4. Conclusiones 59

5. Recomendaciones 62

6. Anexos 63

7. Bibliografía 73

INDICE DE TABLAS, FIGURAS Y ECUACIONES

Figura 1: Ciclo del carbono con y sin aplicación de biochar en el suelo 13

Figura 2: Mapa de zonas mineras artesanales y pequeña minería del Ecuador. 21

Figura 3: Oro refinado 23

Figura 4: Esquema de desarrollo del proyecto 34

Figura 5: Mapa de ubicación Centro Educativo Agronómico Salesiano 35

Figura 6: Recolección de estiércol porcino y vacuno 35

Figura 7: a) Equipo de pirólisis b) cilindro del reactor 36

Figura 8. a) Biochar porcino, b) biochar vacuno 37

Figura 9. Análisis inicial 38

Figura 10: Red hidrográfica del Cantón Zaruma. 38

Figura 11: Almacenamiento de agua residuales del proceso minero artesanal 39

Figura 12: Determinación carga óptima 43

Figura 13: Determinación tiempo óptimo.....44

Figura 14: a) SEM Biochar porcino, b) SEM Biochar vacuno 53

Figura 15: Determinación carga óptima 55

Figura 16: Determinación tiempo óptimo.....57

Tabla 1: Empleo y Producción de la Minería Artesanal y Pequeña Escala 20

Tabla 2: Propiedades físicas y químicas del mercurio.....25

Tabla 3. Efectos en la salud causados por el mercurio 26

Tabla 4: Proceso de remoción en función de la carga 43

Tabla 5: Proceso de remoción en función del tiempo.....44

Tabla 6: Humedad del estiércol 45

Tabla 7: Rendimiento del biochar.....46

Tabla 8: Análisis inicial de agua residual 47

Tabla 9: pH biochar vacuno y porcino.....47

Tabla 10: Densidad biochar porcino 49

Tabla 11: Densidad biochar vacuno.....49

Tabla 12: Porosidad del biochar 50

Tabla 13: Características químicas del biochar 51

Tabla 14: Determinación de carga óptima.....54

Tabla 15. Determinación tiempo óptimo 56

Tabla 16: Comparación de biochar vs TULSMA 58

Ecuación 1. Cálculo de la humedad del estiércol 35

Ecuación 2. Rendimiento de la carbonización 37

Ecuación 3. Porcentaje de alcalinidad 40

Ecuación 4. Densidad aparente 40

Ecuación 5. Densidad real 41

Ecuación 6. Determinación de la porosidad 42

Capítulo 1

1.1. Antecedentes

El Ecuador es un país con un gran potencial minero, según (Roberto & Aranibar, 2003) “ la cordillera andina forma el eje principal del Ecuador y es donde se presentan la mayor cantidad de mineralizaciones metálicas”, razón por la cual poblaciones que se establecieron en las diferentes partes del territorio nacional, fueron las que impulsaron a que se lleve a cabo la explotación de minerales metálicos, principalmente en la Provincia del Oro (Peñaranda, 2013). Esta actividad surge desde tiempos precolombinos, en regiones ubicadas al sur del país como: Ponce Enríquez, Santa Rosa, Portovelo, Zaruma y Nambija (Carrillo & Astudillo, 2011).

En tiempos republicanos, en el año de 1897 aparece una de las primeras empresas con visión a la explotación de dicho mineral, conocida como SADCO (South American Development Company), iniciando sus operaciones mineras en el área comprendida entre los cantones de Zaruma y Portovelo, las mismas que finalizaron en el año de 1950 por motivo de presiones políticas de ese entonces.

La minería sin embargo no decayó, ya que en ese mismo año aparece una nueva concesión minera llamada CIMA, hasta los primeros años de la década del 70, de acuerdo con (Ecua2013, 2010) “el cese de las actividades de la empresa CIMA, hace que surja y cobre auge la llamada minería artesanal o informal, que persiste hasta la actualidad como la principal actividad económica de estos cantones”.

La explotación minera en Zaruma ha sido por varios años unas de las principales fuentes de ingreso y empleo para toda la población, ya que la minería según (Peña, 2016)

“es una acción económica, comercial e industrial con base en la explotación y extracción de la riqueza mineral que se encuentra en el suelo y subsuelo”.

El cantón Zaruma ubicado a 1200 msnm, con coordenadas 3º26’00” S y 79º36’00” O, se encuentra dentro del perímetro de explotación de material aurífero, lugar donde se sigue manteniendo hasta la actualidad la práctica de minería artesanal o ilegal, tal como es el caso que encontramos en el sector Vizcaya de dicho cantón, uno de los muchos sectores que aún sigue practicando esta minería artesanal, y el mismo donde se ejecutó nuestro proyecto.

La minería artesanal que se practica se caracteriza por su trabajo manual y una disminución del uso de herramientas electro-mecánicas, en donde muchas de las veces su extracción se realiza al hombro o carretilla, también se utilizan lámparas de carburo, combos, cuñas y palas tanto para las etapas de exploración como las de explotación, recuperando el oro mediante procesos manuales como la adición de mercurio metálico, dicho proceso consiste en una mezcla manual de mercurio liquido con el material de mina previamente molido, en el que partículas de mercurio se adhieren a las de oro, para su recuperación.

Se puede señalar que esta actividad ha traído desventajas tanto a la salud humana y al ambiente, contaminando principalmente el recurso hidrológico que diariamente se ve afectado por los residuos de la obtención del oro, ya que contiene grandes porciones de elementos contaminantes como es el mercurio, el mismo que se mezcla con el agua utilizada en este proceso para posterior a esto ser descargadas irracionalmente a canales cercanos, alterando la calidad del recurso hidrológico, específicamente en los ríos: calera, amarillo, Luis y Ambocas, afluentes que forman parte de la cuenca del rio Puyango (MAE, 2014)

Ante lo expuesto anteriormente, una serie de procesos de remediación se han aplicado hoy en día para la recuperación de ciertos minerales y reducir así la contaminación del recurso hidrológico, una de las alternativas que se han planteado en la actualidad es el uso de carbón activado, el mismo que lo elaboran a partir de diversos materiales como: cascara de coco, almendras, etc., dando resultados favorables en cuanto a descontaminación de aguas de procesos mineros se trate, es decir una barrera para el avance de la contaminación medioambiental, utilizado tanto en el Ecuador como en otros países.

Del mismo modo, nuestro proyecto se enfoca en la elaboración de un biocarbon para la descontaminación de estas aguas obtenidas previamente de los procesos de recuperación del oro, el mismo que se elaborará a partir de estiércol porcino y vacuno, puesto que la generación de este residuo ganadero es otro de los problemas ambientales que se suscitan hoy en día por la demanda demográfica que posee el País.

Es evidente que en la actualidad muchos de los países en vías de desarrollo atraviesan por una serie de problemas entre los que podemos mencionar el crecimiento demográfico, siendo otro de los tantos que conforman un impacto negativo al medio ambiente, debido a que según (Henning Steinfeld et al., 2006) "el crecimiento demográfico y el aumento de los ingresos, así como la transformación de las preferencias alimentarias, están estimulando un acelerado incremento de la demanda de productos pecuarios", según estudios realizados por la FAO se prevé que para que el 2030 el consumo de carnes sea de aproximadamente 160 millones de toneladas (Rodriguez, 2013).

Cabe recalcar que según el último censo agropecuario realizado en el año 2017, se menciona que la población porcina tuvo un aumento del 22.3% y la población vacuna aumentó en un 33%, lo que indica un incremento de residuos generados por los mismos,

conociéndose que la generación de estiércol de un cerdo se encuentra según (P, Streinfeld, Hernderson, & Mottet, 2013) entre 6-8 kg/día y de una vaca entre 10 a 12 kg/día.

El sector pecuario atraviesa una serie de ejes de problemas ambientales y es considerado como uno de los responsables de emitir según (Henning Steinfeld et al., 2006) el 18% de gases de efecto invernadero, contribuyendo notablemente al cambio climático, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) considera que: (FAO, 2018) "la ganadería genera más gases de efecto invernadero que el sector del transporte", y otros autores como (Mazzucchelli & Sánchez, 2016) afirman que "la ganadería es una fuente significativa de éstos gases, particularmente metano y dióxido de nitrógeno(NO_2)".

1.2. Justificación

La conversión de los residuos sólidos orgánicos para producir Biochar (biocarbon) utilizando el proceso de pirólisis es una alternativa que puede optimizar las tasas naturales de captura de carbono, adsorción de metales pesados en el suelo y agua, entre otros (Moreno, 2018).

El biochar o carbón vegetal posee una gama de aplicaciones como agente para mejorar los suelos y descontaminar aguas, presentando una alta eficiencia en la remediación y protección contra la contaminación ambiental, gracias a su capacidad de adsorción, por otro lado el uso de biochar como adsorbente es de muy bajo costo (Kearns, Shimabuku, Knappe, & Summers, 2019, Ahmad et al., 2014).

Se conoce en la actualidad que en la antigua Amazonia según (Eric Toensmeier, 2019) "el método de eliminación de residuos elegido era enterrar y quemar. Los desechos se horneaban debajo de una capa de tierra, este proceso conocido como pirólisis produjo una enmienda de carbón vegetal rica en carbono".

En términos de estructura microscópica según (Ahmad et al., 2014), "el biochar presenta características porosas y tiene una gran superficie compuesta por materiales de varios grupos funcionales incluyendo hidroxilos, carboxilos, y anhídridos" y su capacidad de adsorción es más eficiente en metales pesados, contaminantes orgánicos, nitrógeno y fosforo (Xiang et al., 2020).

Dada la necesidad de desarrollar técnicas que contribuyan a la recuperación de efluentes que han sido contaminados por estos procesos, así como prevenir el avance del mercurio en la cadena trófica, se explora técnicas relativamente innovadoras como es la aplicación de biocarbón como enmienda de aguas contaminadas con mercurio,

previamente obtenidas de procesos mineros artesanales que hasta en la actualidad se mantienen.

En Ecuador la carne de cerdo constituye la tercera fuente de proteína animal dentro de la alimentación, detrás de la carne de pollo y res, respectivamente, motivo por el cual generan una gran cantidad de residuos como estiércol, el mismo que se le podría dar un uso alternativo para la producción de carbón vegetal o lo que se conoce como biochar, teniendo como beneficio, mejorar la calidad de aguas contaminadas por metales pesados de procesos mineros, evidentemente de este biochar, se aprovecharía una de las propiedades más importante como es su capacidad de adsorción anteriormente mencionada (INEC, 2008).

La elaboración y aplicación del biochar puede constituir una oportunidad para que los operadores mineros puedan dar cumplimiento a los nuevos requerimientos de remediación ambiental y para los generadores de residuos orgánicos, como las plantas de producción de cerdos y bovinos, represente una oportunidad de valorizar sus residuos totalmente como enmiendas orgánicas, los mismo que pueden tener diferentes tipos de Aplicaciones.

El desarrollo de este proyecto pretende vincular dos tipos de biochar a partir de estiércol pecuario, para remediar aguas contaminadas con mercurio en procesos mineros, esperando respuestas favorables mediante esta aplicación, donde se realizará pruebas con el uso tanto de biochar porcino y biochar vacuno y la mezcla (50 - 50) de ambos, para así determinar con cual existe mayor capacidad de adsorción.

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo General.

Elaborar biochar a partir de estiércol porcino y vacuno y su aplicación en aguas contaminadas con mercurio obtenidas de procesos mineros artesanales en el sector Vizcaya, Cantón Zaruma.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Obtener biochar vacuno y porcino mediante pirólisis lenta
- Evaluar las propiedades físicas y químicas del biochar obtenido
- Aplicar diferentes dosis de biochar vacuno y porcino en muestras de agua obtenidas del proceso artesanal
- Analizar estadísticamente los resultados obtenidos

1.4. Marco teórico

1.4.1. Adsorción

La adsorción hace referencia al proceso mediante el cual un compuesto que se encuentra en fase líquida se adhiere a un sólido al entrar en contacto con este, el sólido es conocido como adsorbente y este puede ser de procedencia biológica orgánica e inorgánica y el proceso es llamado bioadsorción (Pérez Tomas, 2017).

La bioadsorción se presenta como una alternativa para remover contaminantes como los metales pesados que se encuentran en aguas residuales, este proceso representa una gran ventaja en su aplicación dado que son de bajo costo, tiene una elevada eficiencia, evitamos el uso de productos químicos y mediante esto se da un tratamiento a los desechos agropecuarios que no tenían utilidad (Tejada, Villabona, & Garces, 2015)

La cantidad de material que va a ser adsorbido dependerá del punto de equilibrio entre las tasas de adsorción y desorción, es decir cuando más alta sea la cantidad de adsorción y menor la desorción, se obtendrá una mayor cantidad de material adsorbido (Hernández Morales & Piñeros Avendaño, 2017).

Existen 3 tipos de adsorción:

Adsorción por intercambio: en este tipo de adsorción el adsorbente y el adsorbato se atraen debido a que los iones que se encuentran en el soluto se aglutinan en la superficie del adsorbente debido a que este tiene carga eléctrica contraria a la del adsorbato (Hernández Morales & Piñeros Avendaño, 2017).

El biochar puede ser utilizado para este tipo de adsorción debido a que es idóneo para adsorber aniones y compuestos con carga positiva, dado que el mecanismo de adsorción del biochar se comportará de una manera diferente pues dependerá del tipo de

contaminante que se requiera retener, los mecanismos de adsorción del biochar se puede dar por los tres tipos de adsorción (Cantor & Catañeda, 2018).

Adsorción por fuerzas de Van der Waals: en esta adsorción se encuentran involucradas fuerzas débiles, siendo por esta razón interacciones reversibles manteniendo su identidad y presentan una baja entalpía de adsorción (Hernández Morales & Piñeros Avendaño, 2017).

Adsorción química: conocida también como quimisorción en esta se tiene que la fuerza de atracción entre el adsorbato y el adsorbente es más fuerte y muy parecida al enlace químico, obteniendo un proceso que es irreversible y especifico (Pérez Tomas, 2017).

1.4.2. Pirólisis

Método mediante el cual se produce la descomposición térmica de la materia orgánica sin la presencia de oxígeno, obteniendo productos como biochar, aceites y gas, gracias a este proceso se puede obtener productos que son útiles para diferentes necesidades (Mateos, 2018).

Este proceso es realizado bajo situaciones determinadas como son la velocidad de calentamiento, tamaño de la partícula y temperatura los productos que son obtenidos de un proceso de pirolisis pueden ser utilizados como combustibles (Castro, 2018).

A continuación, se describen los principales tipos de pirolisis:

1.4.2.1. Pirólisis lenta

La pirolisis lenta, es aquella en la que se ocupan bajas temperaturas sin exceder los 600ºC, los lapsos de calentamientos son cerca de 0.1 a 2 °C por segundo y con este tipo

de pirólisis se obtienen biochars de buena calidad además de que este proceso nos permite obtener 35% biochar, 30% aceites y 35 % gas (Zaman et al., 2017).

Para tener una eficiencia en la adsorción el biochar se debe producir en las condiciones adecuadas es por esa razón que en su mayoría se produce por pirolisis lenta mediante este tratamiento nos permite obtener biochar alcalino y con una alta capacidad de intercambio catiónico (Martínez & Bohórquez, 2017).

Las ventajas de la pirólisis lenta son: la retención de hasta el 50% del carbón que se encuentre presente en la materia prima del biochar y la obtención de bioil es muy reducida (Baguer, 2015).

1.4.2.2. Pirolisis rápida

La pirolisis rápida se la realiza con la materia prima que contenga el 10% de humedad y se calienta con rapidez a altas temperaturas, este tipo de pirólisis es usado para la producción de bioaceites, debido a que se tiene entre el 60-75% de rendimientos (Urien, 2013).

1.4.3. Biochar.

Conocido también como biocarbón producto resultante de la pirolisis lenta de la materia orgánica como: estiércol, residuos agrícolas, cultivos energéticos, lodos activados y residuos forestales (Wan et al., 2020).

El biochar es utilizado para mejorar la fertilidad del suelo, retener nutrientes, producción de energía renovable, adsorbente para la eliminación de sustancias tóxicas del suelo y agua, además de funcionar también como una alternativa para la gestión de los residuos (Pandey, Daverey, & Arunachalam, 2020).

El área del biochar al tener carga negativa facilita la adsorción de contaminantes presentes en el agua, esto gracias a que posee una considerable micro porosidad (Hernández Morales & Piñeros Avendaño, 2017).

1.4.3.1. Composición del biochar

Los biochars estarán compuestos de carbono, cenizas, materia orgánica volátil entre otros, para que un biochar tenga un alto potencial de secuestro de carbono deberá tener menos del 80% de materia orgánica volátil, relación O/C menor que el 0,2 y relación H/C menor que 0,4 (Española, 2014).

La materia prima será un factor que incida sobre la composición del biochar al igual que la temperatura a la que se vaya a producir ya que la cantidad de carbono que se encuentre en el biochar va a ser inversamente proporcional al rendimiento del biochar que se tenga, es decir se puede tener del 56-93% de carbono para temperaturas de 300-800ºC mientras que en el rendimiento disminuirá del 67-26%, así también el contenido de cenizas aumentará de 0,67-1,26% a medida que la temperatura aumenta (Española, 2014)

1.4.3.2. Factores que afectan las propiedades del biochar

Condiciones en el proceso de pirolisis: la temperatura en la producción del biochar es importantes debido a que si se produce con altas temperaturas podría originar una mayor cantidad de gases volátiles y poca área superficial, mientras que se obtendrán biochars con un rendimiento constante, área superficial considerable y gran capacidad de adsorción en los biochars producto de una pirólisis a temperaturas de 400-600ºC (Ahmad et al., 2014). El tiempo de residencia y la velocidad de calentamiento también tienen influencia en el contenido de materia volátil en el biochar (Pandey et al., 2020).

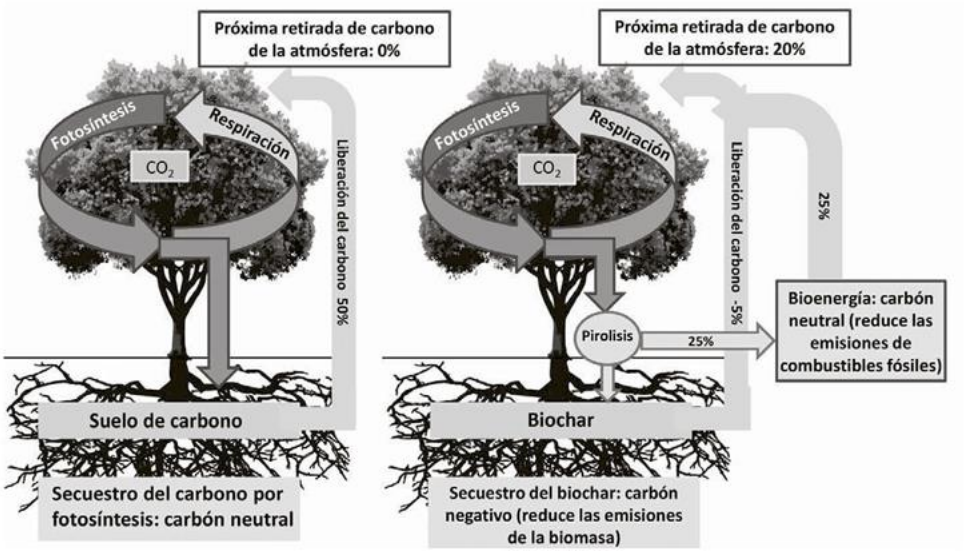
Composición de la materia prima: este factor tendrá una incidencia directa sobre la elaboración de biochar su efectos serán en la capacidad de secuestro de carbono, composición de carbono, rendimiento y contenido de cenizas (Pandey et al., 2020).

1.4.3.3. Efectos ambientales del biochar

Los efectos ambientales que puede tener el biochar son varios que vamos a mencionar a continuación:

Disminución de emisiones de dióxido de carbono: debido a que se ha demostrado en estudios que el biochar puede llegar a tener entre el 50 y 85% de carbono y que su adición en suelos es un método para la fijación de carbono y de reducción de la concentración de dióxido de carbono atmosférico y de otros gases de efecto invernadero como se muestra en la figura 1 (Cueto, 2016). La capacidad del biochar para actuar como un sumidero de carbono es por su naturaleza recalcitrante, con lo cual su proceso de degradación en el suelo se ralentiza y por ende la velocidad a la que se emite carbono a la atmósfera (Olmo, 2016). Amonette & Lehmann (2007) indican que si aplicaríamos biochar al suelo las emisiones de dióxido de carbono que son producidas de la agricultura se reducirían en un 68%.

Figura 1: Ciclo del carbono con y sin aplicación de biochar en el suelo



Fuente: (Española, 2014).

Descontaminante de suelos: los biochars al tener una gran área superficial son capaces de inmovilizar los metales pesados, compuestos tóxicos que se encuentran en los suelos, reduciendo de esta manera la fitotoxicidad, y biodisponibilidad, lo cual ayuda a que estos suelos se pueden recuperar obteniendo una revegetación, la eficiencia de estos va a depender del tipo según su materia prima pues existen biochars específicos para cada tratamiento de remediación (Wang, Zhang, Zhejiang, & Arbestain, 2015).

Tratamiento de aguas contaminadas: el biochar al poseer una carga negativa son capaces de adsorber metales pesados que se encuentren en aguas que han sido contaminadas por diversos procesos resultantes de la actividad humana, los metales son adsorbidos y estos se encuentran en almacenados en los poros del biochar, para lograr la mayor cantidad de remoción de metales pesados se debe colocar la dosis óptima de biochar por un tiempo óptimo que se haya determinado en análisis previos (Lima, Boateng, & Klasson, 2010).

El biochar según estudios realizados ha tenido una excelente función en los procesos de adsorción de los iones de metales pesados que se encuentran presentes en el agua, se ha demostrado que el biochar cuenta con una mayor capacidad de adsorción que el carbón activado, así mismo se logró una eliminación de los fosfatos obteniendo un porcentaje del 73% de remoción (Ramos, 2012)

1.4.3.4. Aplicaciones agrícolas del biochar

En las investigaciones se han demostrado que se puede aplicar biochars que son obtenidos a partir de estiércoles porcinos, vacunos y aviar en suelos agrícolas, la aplicación de esta enmienda nos ayuda a: mejorar las propiedades físico químicas, aumenta la capacidad de retención del agua, almacenamiento de carbono, adiciona nutrientes como el hierro y zinc que son esenciales para el crecimiento de las plantas al ser utilizado como fertilizante de liberación lenta además de incrementar la resistencia a enfermedades bacterianas y fúngicas (Cely, Gascó, Paz-Ferreiro, & Méndez, 2015).

1.4.4. Residuos

Los residuos son los materiales que no cuentan con un valoración económica para la persona que lo genera sin embargo tiene un valor comercial ya sea para su recuperación y valorización (INEC, 2016).

El Código Orgánico del Ambiente indica que los residuos

> Son las sustancias sólidas, semisólidas, líquidas o gaseosas, o materiales compuestos resultantes de un proceso de producción, extracción, transformación, reciclaje, utilización o consumo, a cuya eliminación o disposición final se procede conforme a lo dispuesto en la legislación ambiental nacional o internacional aplicable y es susceptible de aprovechamiento o valorización (Codigo Orgánico del Ambiente, 2017, p.92).

1.4.4.1. Clasificación de los residuos

Los residuos sólidos según su origen se clasifican en:

Residuos Sólidos domiciliario: son los que debido a su naturaleza, composición y cantidad se generan en las labores realizadas en las residencias (MAE, 2015).

Residuos industriales: son los resultantes de los procesos productivos, son singulares debido a que tienen un grado de peligrosidad por lo cual estos deben ser recolectados y tratados de una forma especial para minimizar los riesgos tanto para la salud como para el ambiente, así mismo algunos de estos residuos pueden ser utilizados como materia prima para crear otros productos (León & Plaza, 2017)**.**

Residuos agropecuarios: este tipo de residuos son los generados por actividades de agricultura y ganadería, estos residuos son utilizados como abono para los cultivos, los residuos agrícolas se utilizan para la producción de combustibles mientras que los residuos ganaderos son aprovechados mediante tratamientos bioquímicos o térmicos (Medioambiente, 2006)**.**

Residuos mineros: son residuos que provienen de la explotación minera, estos se generan principalmente en los procesos de extracción, valorización, eliminación y el almacenamiento de estos tipos de residuos (Residuos, 2014).

Residuos radiactivos: los residuos radiactivos se generan en las plantas de energía que son de origen nuclear, los principales residuos que se generan provienen de los reactores y del cierre definitivo de este tipo de centrales, estos residuos se encuentran contaminados por radio nucleídos que se encuentran en concentraciones superiores (Gómez Delgado, 1995).

1.4.4.2. Residuos ganaderos

Los residuos ganaderos es el producto de la crianza intensiva o extensiva del ganado, dentro de los residuos ganaderos se encuentran considerados los estiércoles, residuos zoosanitarios y cadáveres de los animales (Medioambiente, 2006).

Los residuos ganaderos son utilizados para la producción del biochar debido a que se obtienen productos con alto contenido en nutrientes, además que varios estudios han mostrado que los biochars elaborados de residuos ganaderos tienen una mayor capacidad de inmovilizar los metales pesados (Calvo, 2019).

1.4.4.2.1. Impacto ambiental de los residuos ganaderos

El impacto que tiene la ganadería en el ambiente es amplio debido a que se reconoce que las actividades ganaderas emiten gases de efecto invernadero (GEI) como: dióxido de carbono (CO2), metano (CH4), óxido nitroso (N2O), estos son emitidos tanto por los rumiantes como por los monogástricos en cantidades menores, dado que como parte de su proceso digestivo involucra la fermentación microbiana de alimentos fibrosos (Pérez Espejo, 2008).

La ganadería es una problemática que debe ser tratada con importancia debido a las siguientes aportaciones de los GEI:

- Metano: la emisión de este gas proviene de las excretas y la fermentación entérica que representan el 80% de las emisiones que son procedentes de la agricultura (Pérez Espejo, 2008).
- Óxido nitroso: este gas es generado debido al tratamiento aeróbico de los residuos ganaderos (Pérez Espejo, 2008). El sector pecuario es el responsable del 65% de las emisiones antropogénicas globales (Steinfeld et al., 2009).

- Amoniaco: las emisiones de amoniaco tiene un aporte del 68% de la ganadería, debido a que las excretas animales son almacenadas para su posterior aplicación en la agricultura (Pérez Espejo, 2008).

El recurso hídrico es contaminado por los residuos ganaderos debido a que estos son utilizados en la agricultura y que por medio de escurrimientos llegan a los flujos de agua teniendo contaminación mediante nitrógeno y contaminación superficial mediante fósforo lo que ocasiona la eutrofización, disminuye el oxígeno disuelto y cambios en el pH dando como resultado final una afectación a la calidad del agua (Pinos et al., 2012).

1.4.5. Gestión y valorización de los residuos.

La gestión de los residuos son todas las acciones para aprovechar los materiales y en algunos de los casos la energía que se encuentra dentro de los residuos mediante tecnologías y programas que nos permitan aprovechar todos los recursos que se encuentran contenidos siendo estos gestionados de una manera segura para el ambiente (Velásquez, 2008).

Una inadecuada gestión genera graves impactos en la salud de las personas en su mayoría causa enfermedades entéricas, así mismo causa impactos ambientales como la afección a la calidad del agua que se ocasiona por los lixiviados, el aire también se ve afectado por las emisiones generadas a causa de la descomposición, es por esta razón que se debe realizar una eficaz gestión de los residuos, en la cual las actividades se encuentren jerarquizadas siendo en la principal alternativa la de evitar generar un residuo, seguida de minimizar y en caso de no ser posible realizar las dos primeras alternativas se debería buscar un tratamiento al residuos generado (Toro, Szantó, Pacheco, Contreras, & Gálvez, 2016).

Los residuos ganaderos no tenían una gestión correcta, debido a que la gente limpiaba los lugares en que se encontraban y estos eran desechados, sin embargo con el pasar del tiempo las personas que tenían ganado empezaron a tener cultivos y aplicaban directamente el estiércol a los cultivos, este procedimiento puede causar graves problemas debido a que se supera los niveles de nitrógeno en el suelo y también la producción de malos olores (Medioambiente, 2006).

Debido al incremento de la población se tiene también un incremento de las necesidades dando como resultado el incremento de los residuos provenientes de la ganadería, estos residuos deben ser gestionados y valorizados de una manera correcta un tipo de valorización es la energética en la cual mediante una digestión anaerobia se genera biogás y fertilizante para los cultivos, en este proceso de valorización no se gestionan en su totalidad los residuos (Ramón, 2017).

Un proceso de valorización con el cual se podría tener una totalidad de gestión de los residuos es la producción del biochar, el mismo que se puede utilizar en los cultivos como fertilizantes que mejoran la capacidad del suelo o se puede utilizar como adsorbentes de contaminantes, de esta manera se da una correcta gestión y valorización de los residuos (Agenex, 2010).

Los residuos provenientes de la minería artesanal no han tenido una gestión adecuada por lo cual la disposición de estos han sido en los efluentes aledaños al sector en que se realiza esta actividad causando la contaminación por mercurio del recurso hídrico, sin embargo en países como la India, Estado Unidos, Portugal, España, Brasil, Colombia y Egipto se han realizado investigaciones sobre la gestión de los residuos líquidos contaminados con mercurio en la minería artesanal obteniendo resultados positivos en los que destacan el tratamiento mediante bioadsorción ya que este es un método

económico y eficiente, siendo este una gestión innovadora que genera interés en la comunidad científica (Garzón-Gutiérrez & Rodríguez-Miranda, 2015)

1.4.6. Minería artesanal

El Reglamento de Régimen Especial de Pequeña Minería en su artículo 18 indica que.- Minería artesanal

> Se considera minería artesanal aquella que se realiza mediante el trabajo individual, familiar o asociativo de quien efectúa labores mineras en áreas libres, única y exclusivamente como medio de sustento, conforme se establece en el artículo 134 de la Ley de Minería. (Reglamento Del Regimen Especial De Pequeña Mineria, 2009, p. 5).

A pesar que la minería artesanal no es permitida, en ciertos países de Latinoamérica esta se sigue desarrollando debido a que los gobiernos no controlan estas actividades o no tienen la capacidad de controlarlas dado que estas actividades se dan en lugares remotos o inaccesibles (International Institute for Environment and Development, 2002).

Tabla 1: Empleo y Producción de la Minería Artesanal y Pequeña Escala

País	Número de trabajadores (miles)	Minerales (proporción de mineros en la MAPE, cuando existen)	Producción annual (en miles de toneladas a menos que se inidque algo diferente)	Proporción de la producción nacional de la MAPE
Bolivia	72	metales base 54%, oro 45%	Oro-12 toneladas Plata- 433 toneladas Zinc-149 Estaño 12	Todos los minerales - 27%
Brasil	Mineros en pequeña escala, 67; garimpeiros, hasta 300-400	Mineros en pequeña escala: materiales de construcción y edificación 84%; garimpeiros: oro 73%, diamantes 11%, casiterita 10%	_	_
Perú	30	Oro	Oro – 15 toneladas	Oro – 16%
Ecuador	92	Oro 65%, materiales de construcción 23%, pedra pómez 6%	Oro- 4 toneladas Piedra pómez-172	_

Fuente: (International Institute for Environment and Development, 2002).

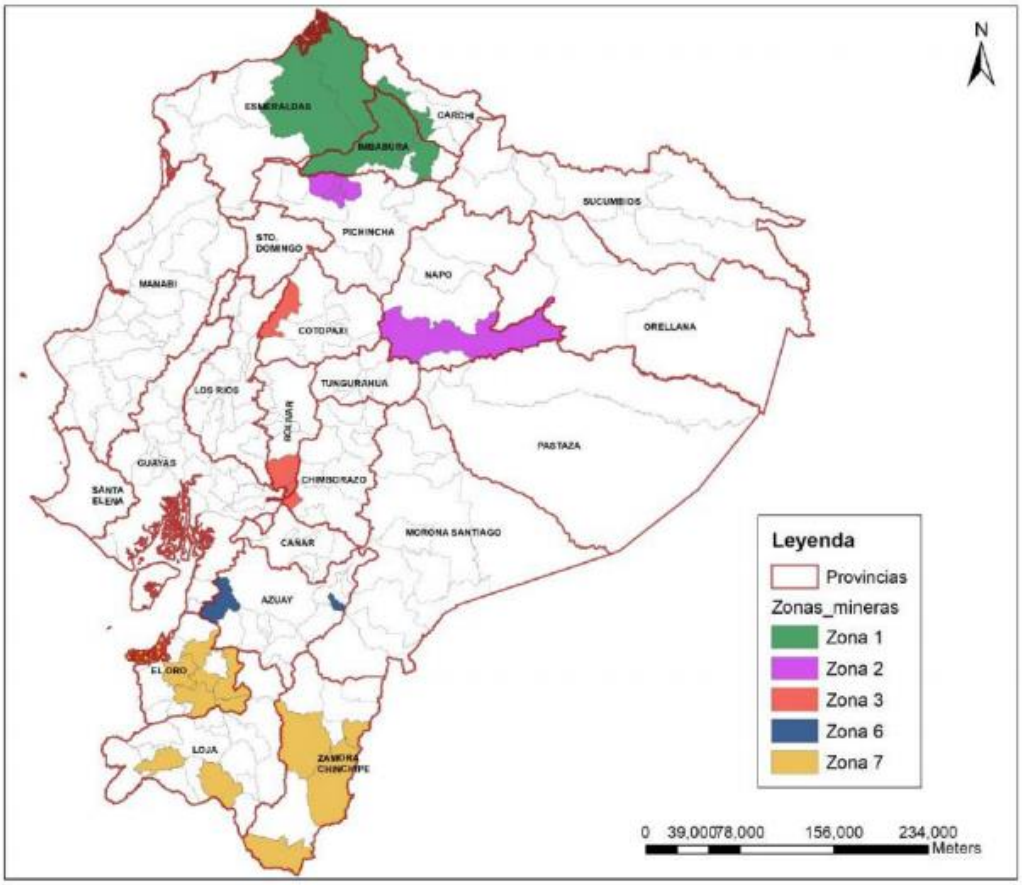
Como se puede observar en la tabla 1, Ecuador cuenta con 92 mil personas que trabajan en la minería artesanal y a pequeña escala, dedicados en su mayoría a la producción del oro, obteniendo anualmente 4 toneladas (International Institute for Environment and Development, 2002).

Según un informe del Programa de la Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) del año 2007 indica que la minería artesanal consume 806 toneladas de mercurio lo que genera emisiones del orden de 150 toneladas de este metal, pues se cree

que la minería artesanal produce entre el 20 y 30% del oro del mundo (Español Cano, 2012).

Como se puede observar en la Figura 2 tenemos un mapa realizado por el Ministerio del Ambiente el cual se encuentra divido en zonas en donde se realiza prácticas de minería artesanal y pequeña minería, se puede identificar que existen varios sitios mineros que se encuentran localizados en algunos cantones de la zona 7, como es Zaruma-Portovelo (MAE, 2020).

Figura 2: Mapa de zonas mineras artesanales y pequeña minería del Ecuador.



Fuente: (MAE, 2020)**.**

1.4.6.1. Proceso de obtención del oro.

El proceso de la minería artesanal consiste de los siguientes pasos:

Primero, la explotación de las minas, aquí se extrae el material que va a ser utilizado para la obtención del oro, los mineros artesanales pueden o no realizar este proceso ya que algunos solo se dedican al procesamiento (OMS, 2017).

Segundo, en el procesamiento del material se requiere un tratamiento mecánico, el cual consiste en la trituración primaria de los minerales la misma que se realiza mediante martillos y la trituración secundaria se da mediante molinos, en esta se obtiene un material con un tamaño uniforme y fino (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2012).

Tercero, la concentración se realiza mediante el uso de la gravedad, de esta forma se logra separar las partículas pesadas como el oro del resto de materiales que son livianos, con este proceso se reduce la cantidad de material que se va amalgamar (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2012).

Cuarto, mediante una aleación entre el mercurio y el oro se obtiene la amalgama, existen dos tipos de amalgamación: la primera consiste en suprimir el tercer paso y amalgamar todo el material, aquí se ocupan grandes cantidades de mercurio (3 y 50 unidades por unidad de oro recuperado aproximadamente) y que en su mayoría son desechados como residuos por la ineficacia del proceso, mientras que la segunda consiste en amalgamar solo el concentrado, utilizando de esta manera cantidades menores de mercurio (Oviedo-Anchundia, Moina-Quimí, Naranjo-Morán, & Barcos-Arias, 2017; Rivera et al., 2018).

Quinto, se recupera el oro debido a que se calienta la amalgama y el mercurio se vaporiza, se obtiene un oro poroso, el cual se calienta nuevamente (figura 3) eliminando impurezas y el restante de mercurio, dando como resultado final un oro refinado (OMS, 2017).

Figura 3: Oro refinado

Fuente: (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2012)**.**

1.4.6.2. Problemas ambientales.

Los problemas ambientales de la minería artesanal son varios y empiezan desde su extracción debido a que degradan la tierra, desalojando los bosques y vegetación de las zonas a explotar ocasionando una alteración en la topología de la zona lo que más adelante causa erosiones, deslizamientos, incremento de sedimentos en los cursos de agua y reducción de flora y fauna (Sánchez C & Enríquez B, 1996).

Debido a la falta de conocimiento que tienen los mineros artesanales sobre el vínculo que existe entre la degradación del ambiente y la salud, hace que ellos no tengan un manejo ambiental apropiado, un claro ejemplo de esto fue un derrame de mercurio ocurrido en una mina de Perú dando como resultados contaminación del entorno e intoxicación de los pobladores, luego de estos hechos los mineros del sector, empezaron a tomar conciencia sobre los problemas que trae la utilización de este metal (Kuramoto, 2002).

Otros de los problemas ambientales que se tiene de la minería es la producción de emisiones de gases que se producen durante el calentamiento de la amalgamación ocasionando la evaporación y liberación del mercurio lo cual afecta tanto al ambiente como a la salud de los mineros y de sus familias, también tenemos la contaminación de los cuerpos de agua al desechar en ellos las aguas residuales de este proceso (Kuramoto, 2002).

1.4.6.3. Afecciones en la salud.

La minería artesanal trae consigo diversas afecciones a las personas que trabajan en esta actividad principalmente tenemos las afecciones a los pulmones que pueden ser ocasionadas por la exposición prolongado al polvo lo que puede generar la silicosis, también al encontrase en contacto directo con los vapores que se producen por la quema de la amalgamación pueden presentar afecciones en las vías respiratorias como la irritación, neumonitis química, edema pulmonar y si existe una exposición elevada puede generar un fallo respiratorio y la muerte (OMS, 2017).

1.4.7. Mercurio

El mercurio pertenece al grupo de los metales pesados y este elemento se considera peligroso para la salud y el ambiente, existen 3 tipos de mercurio: mercurio inorgánico, mercurio orgánico y mercurio elemental, este último se usa para la producción de cloro gaseoso, soda caústica y extracción de oro de minerales (Agencia para Sustancias Tóxicas el Registro de Enfermedades, 1994). En la tabla 2 se presentan las propiedades físicas y químicas que tiene el mercurio.

Tabla 2: Propiedades físicas y químicas del mercurio

Fórmula molecular	**Hg**
Peso molecular	200.59
Aspecto	Pesado
Estado físico	Líquido
Olor	Inodoro
Punto/intervalo de fusión	-38.9 °C
Punto/intervalo de ebullición	357 °C
Densidad relativa (agua=1)	13.5
Densidad relativa de vapor (aire=1)	6.93

Fuente: (Contra & Fugas, 2001)**.**

1.4.7.1. Toxico-cinética.

La absorción del mercurio metálico ocurre por inhalación de los vapores y por vía dérmica cuando este se encuentra en forma líquida, la exposición por vapores causa que se tenga una absorción del 80% en los pulmones con lo cual existe una distribución mediante la sangre lo que provoca una acumulación en los órganos del cuerpo, los órganos que mayor acumulación presentan son cerebro, riñones y testículos, la eliminación del mercurio se da en su mayoría por la heces y en menor cantidad por el sudor, cabello y lágrimas, la mayor parte del mercurio que es absorbido se puede eliminar hasta en 60 días pero lo que se encuentra acumulado en el cerebro su eliminación puede tardar hasta 1 año (Salazar, 1997).

1.4.7.2. Efectos en la salud.

Los efectos en la salud va a depender de los tiempos de exposición, los efectos pueden llegar a ser crónicos al aumentar los tiempos de exposición y concentración (Poulin &

Gibb, 2008). En la tabla 3 vamos a poder observar las principales enfermedades que pueden ocurrir cuando nuestro cuerpo se encuentra expuesto al mercurio.

Para determinar la exposición en la que se encuentra una persona, se lo realiza mediante análisis y se lo puede realizar mediante tres biomarcadores que puede ser mercurio en la sangre, pelo y en las uñas (Raimann, Lorena Rodríguez, Chávez, & Torrejón, 2014).

Tabla 3. Efectos en la salud causados por el mercurio

Efectos sistema nervioso	Trastornos neurológicos y de conducta
	Déficit de las funciones cognitivas y motoras
Efectos renales	Proteinuria transitoria macroscópica
	Alteraciones de la excreción urinaria
	Hematuria
	Insuficiencia renal
Efectos cardiovasculares	Elevación de la presión renal
	Aumento de la frecuencia cardiaca
	Toxicidad cardiovascular
Efectos cutáneos	Dermatitis
	Acrodinia
Efectos respiratorios	Disnea
	Opresión en el pecho
	Neumonitis
	Disminución en la función respiratoria
	Obstrucción vias respiratorias
	Hiperinsuflación
	Edema pulmonar
	Fibrosis por neumonía lobular

Fuente: (Poulin & Gibb, 2008).

1.4.7.3. Impactos en el ambiente.

El mercurio al ser utilizado en la minería genera impactos en el ambiente, debido a que las aguas residuales de este proceso son evacuadas en los cuerpos de agua lo que causa que se tenga una contaminación superando los límites máximos permisibles de mercurio en el agua, además de causar la transformación del mercurio en metil-mercurio, el cual se bio-acumula en los organismos acuáticos y que estos al ser consumidos por las personas les puede provocar intoxicación (Cano, 2012).

Ocurre una contaminación de suelos cuando las personas utilizan los cuerpos de agua que se encuentran contaminados con metales pesados para el riego de sus cultivos, causando de esta manera que estos metales se retengan en el suelo lo que ocasiona que estos elementos sean absorbidos por los cultivos, incorporándose de esta manera en la cadena trófica (Méndez et al., 2008).

Durante el proceso de quema de la amalgama un 70% del mercurio es emitido a la atmosfera mediante los vapores que se producen, se ha estimado que entre 2200 y 2900 Mg (mega gramos) de mercurio por año son liberados por fuentes antropogénicas, causando una afección en el aire que es respirado por los habitantes de las zonas mineras (Pirrone et al., 2010).

1.4.8. Legislación Ecuatoriana

1.4.8.1. Constitución de la República del Ecuador

En la Constitución de la República del Ecuador se tienen artículos en los cuales se vela por los derechos de los ciudadanos a vivir en un ambiente sano, así también se le considera a la naturaleza como un sujeto de derecho, como se presentará en los siguientes artículos (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumak kawsay. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados (Constitución de la República del Ecuador, 2008, p. 13).

Art. 71.- La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos. Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observarán los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda. El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema (Constitución de la República del Ecuador, 2008, p. 33).

Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados. En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las

consecuencias ambientales nocivas (Constitución de la Republica del Ecuador, 2008, p. 33).

La Constitución también establece como actuar en el caso de daños ambientales así lo describe en el siguiente artículo:

Art. 397.- En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Además de la sanción correspondiente, el Estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las obligaciones que conlleve la reparación integral, en las condiciones y con los procedimientos que la ley establezca. La responsabilidad también recaerá sobre las servidoras o servidores responsables de realizar el control ambiental. Para garantizar el derecho individual y colectivo a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, el Estado se compromete a (Constitución de la Republica del Ecuador, 2008, p. 92).:

1. Permitir a cualquier persona natural o jurídica, colectividad o grupo humano, ejercer las acciones legales y acudir a los órganos judiciales y administrativos, sin perjuicio de su interés directo, para obtener de ellos la tutela efectiva en materia ambiental, incluyendo la posibilidad de solicitar medidas cautelares que permitan cesar la amenaza o el daño ambiental materia de litigio. La carga de la prueba sobre la inexistencia de daño potencial o real recaerá sobre el gestor de la actividad o el demandado.

2. Establecer mecanismos efectivos de prevención y control de la contaminación ambiental, de recuperación de espacios naturales degradados y de manejo sustentable de los recursos naturales.

3. Regular la producción, importación, distribución, uso y disposición final de materiales tóxicos y peligrosos para las personas o el ambiente.

4. Asegurar la intangibilidad de las áreas naturales protegidas, de tal forma que se garantice la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de las funciones ecológicas de los ecosistemas. El manejo y administración de las áreas naturales protegidas estará a cargo del Estado.

5. Establecer un sistema nacional de prevención, gestión de riesgos y desastres naturales, basado en los principios de inmediatez, eficiencia, precaución, responsabilidad y solidaridad (Constitución de la Republica del Ecuador, 2008, p. 92).

1.4.8.2. Ley de minería

La ley de minería del Ecuador expone cuatro tipos de explotación minera como son: minería artesanal, pequeña, mediana y gran minería, que se encuentran señalado en los artículos 134 y 138 de la misma, además menciona todas las directrices que se deben llevar a cabo cuando se realice este tipo de actividades y se establece el organismo regulador para esta actividad, cabe recalcar que en la actualidad se ha negado completamente el uso de mercurio en la amalgamación del oro dentro del proceso minero (Ley De Mineria, 2018).

Art. 8.- Agencia de Regulación y Control Minero.- La Agencia de Regulación y Control Minero, es el organismo técnico-administrativo, encargado del ejercicio de la potestad estatal de vigilancia, auditoría, intervención y control de las fases de la actividad minera que realicen la Empresa Nacional Minera, las empresas mixtas mineras, la iniciativa privada, la pequeña minería y minería artesanal y de

sustento, de conformidad con las regulaciones de esta ley y sus reglamentos (Ley De Mineria, 2018, p. 4) .

Dentro de esta misma ley se determina el uso de agua en los procesos mineros como se señala en el artículo 79 y la prohibición de descarga de desechos no tratados a cuerpos de agua como se menciona en el artículo 81.

> Art. 79.- Tratamiento de aguas.- Los titulares de derechos mineros y mineros artesanales que, previa autorización de la autoridad única del agua, utilicen aguas para sus trabajos y procesos, deben devolverlas al cauce original del río o a la cuenca del lago o laguna de donde fueron tomadas, libres de contaminación o cumpliendo los límites permisibles establecidos en la normativa ambiental y del agua vigentes, con el fin que no se afecte a los derechos de las personas y de la naturaleza reconocidos constitucionalmente. El tratamiento a darse a las aguas para garantizar su calidad y la observancia de los parámetros de calidad ambiental correspondientes, deberá preverse en el respectivo sistema de manejo ambiental, con observancia de lo previsto en las leyes pertinentes y sus reglamentos (Ley De Mineria, 2018, p. 30)

> Art. 81.- Acumulación de residuos y prohibición de descargas de desechos.- Los titulares de derechos mineros y mineros artesanales, para acumular residuos minero-metalúrgicos deben tomar estrictas precauciones que eviten la contaminación del suelo, agua, aire y/o biota de los lugares donde estos se depositen, en todas sus fases incluyendo la etapa de cierre, construyendo instalaciones como escombreras, rellenos de desechos, depósitos de relaves o represas u otras infraestructuras técnicamente diseñadas y construidas que garanticen un manejo seguro y a largo plazo. Se prohíbe la descarga de desechos

de escombros, relaves u otros desechos no tratados, provenientes de cualquier actividad minera, hacia los ríos, quebradas, lagunas u otros sitios donde se presenten riesgos de contaminación. El incumplimiento de esta disposición ocasionará sanciones que pueden llegar a la caducidad de la concesión o permiso (Ley De Mineria, 2018, p. 31).

En un artículo innumerado de la Ley de Minería hace referencia a la prohibición del uso de mercurio en operaciones mineras, como se muestra a continuación:

> Art. ...- Prohibición del uso del mercurio en operaciones mineras.- Sin perjuicio de la aplicación de la normativa minero ambiental, se prohíbe el uso del mercurio en el país en actividades mineras, de acuerdo a los mecanismos que la autoridad ambiental nacional establezca para el efecto, en conjunto con las instituciones con potestad legal sobre la materia. La inobservancia a esta prohibición será sancionada con la revocatoria del derecho minero, sin perjuicio de las sanciones de orden penal a las que hubiere lugar (Ley De Mineria, 2018, p. 32-33).

1.4.8.3. Reglamento del Régimen Especial de la Pequeña Minería

En este reglamento alude la restricción del mercurio y de otras sustancias tóxicas y peligrosas como lo indica en el artículo 37.

> **Art. 37**.- Restricción para el uso del mercurio y otras sustancias tóxicas y peligrosas.- Sin perjuicio de la aplicación de la normativa minero ambiental, los titulares de derechos mineros bajo el régimen especial de pequeña minería y minería artesanal, deberán adoptar en sus operaciones procedimientos mediante los cuales se evite el uso de mercurio. En todo caso se deberán utilizar sistemas de recuperación de ese metal mediante el empleo de destiladores de retorta, sistemas similares o procesos químicos controlados que coadyuven al manejo

adecuado de esta sustancia, evitando descargas del mismo, conforme las normas del Reglamento Ambiental para Actividades Mineras. (Reglamento Del Regimen Especial De Pequeña Mineria, 2009, p. 36)

1.4.9. Microscopia electrónica de barrido (SEM)

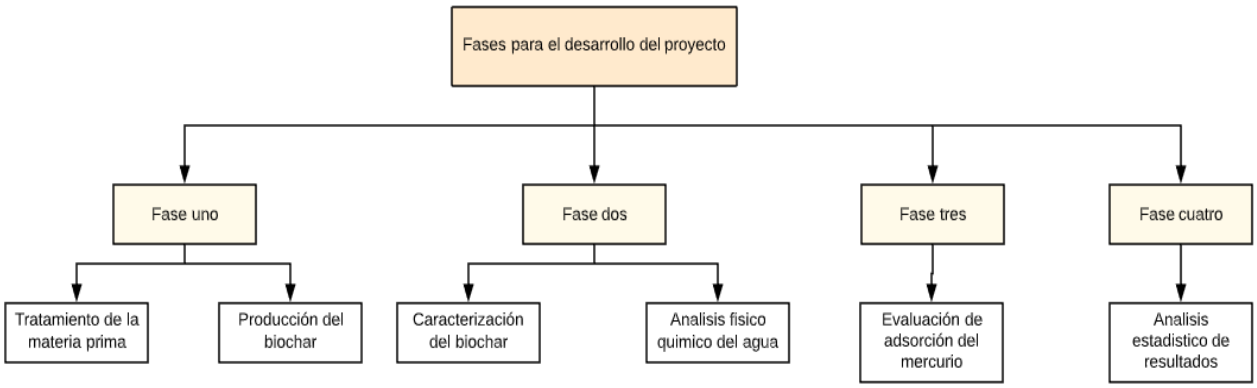
La microscopía electrónica de barrido es una técnica que se utiliza para observar y caracterizar la superficie de materiales inorgánicos y orgánicos obteniendo información acerca de la morfología, estructura, porosidad del material que es analizado, esta técnica nos permite tener una mayor resolución en las imágenes (Clavijo, 2013)

Capítulo 2

2.1. Materiales y métodos

Para la ejecución de este proyecto de investigación se hizo la propuesta de cuatro fases: tratamiento de la materia prima y producción del biochar, caracterización del biochar y análisis físico químico del agua, evaluación de adsorción del mercurio, análisis estadístico de los resultados como se detalla en la siguiente figura:

Figura 4: Esquema de desarrollo del proyecto



Fuente: Autores.

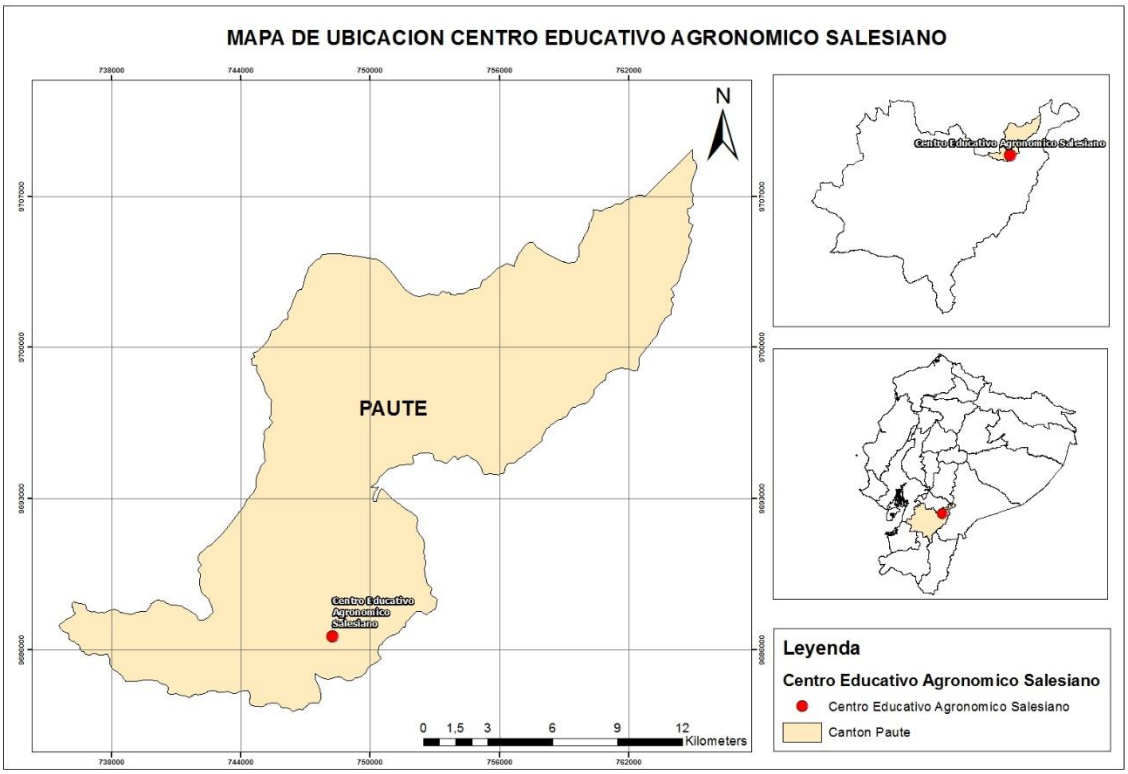
2.1.1. Fase uno

2.1.1.1. Tratamiento de la materia prima

La materia prima que se utilizó fue el estiércol vacuno y porcino que se obtuvo de las granjas del Centro Educativo Agronómico Salesiano que se encuentra ubicado en el Cantón Paute (figura 5), como se muestra en la figura 6 se recolectó 37.5 Kg de estiércol vacuno y 18.18 Kg de estiércol porcino, luego de esto se realizó el secado del estiércol.

Se realizó el cálculo del porcentaje de humedad (ecuación 1), cabe recalcar que este debe estar entre el 20-30%, luego de esto se procedió a triturar las partículas para que pasen por un tamiz de 4 mm.

Figura 5: Mapa de ubicación Centro Educativo Agronómico Salesiano



Fuente: Autores

Figura 6: Recolección de estiércol porcino y vacuno

Fuente: Autores

Ecuación 1. Cálculo de la humedad del estiércol

$$Humedad = \frac{peso\ original - peso\ seco}{peso\ seco} * 100$$

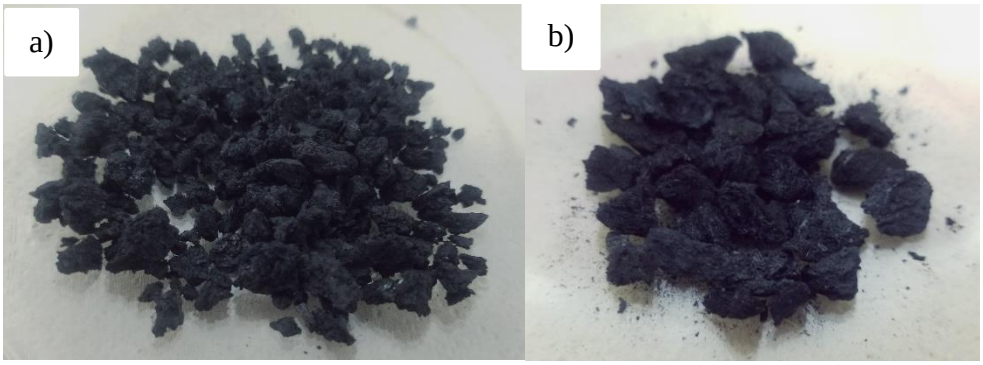
2.1.1.2. Producción del biochar.

Para la producción del biochar las partículas que anteriormente fueron trituradas, se sometieron al proceso de pirólisis en el reactor (figura 7a), el cual consistió en colocar el estiércol porcino y vacuno por separado en el cilindro interior del reactor (figura 7b), la velocidad de calentamiento que se ocupó fue de 10°C min^{-1} hasta alcanzar una temperatura de 400ºC por el lapso de 1 hora. Una vez que se cumplió el tiempo se sacó la muestra y se la colocó en un desecador para que se enfrié y se procedió al pesado del biochar obtenido (figura 8) y se determinó los rendimientos de cada biochar mediante la ecuación 2.

Figura 7: a) Equipo de pirólisis b) cilindro del reactor

Fuente: Autores

Figura 8. a) Biochar porcino, b) biochar vacuno



Fuente: Autores

Ecuación 2. Rendimiento de la carbonización

$$Rendimiento\ de\ la\ carbonización = \frac{masa\ de\ biocarbon\ obtenido}{masa\ inicial\ de\ estiercol} * 100$$

2.1.2. Fase dos

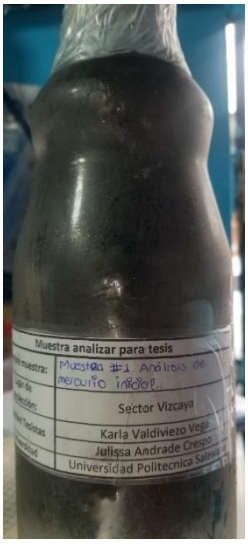
2.1.2.1. Análisis del agua.

Las muestras de agua fueron recolectadas del proceso minero artesanal que se realiza en el sector Vizcaya, estas aguas se encuentran en los tanques de almacenamiento (figura 11) y se tomaron muestras de 700 ml siguiendo el siguiente proceso de muestreo (figura 9):

- Se llenó el recipiente de muestreo
- Se identificó la muestra, mediante una etiqueta que contenía código, fecha, hora, ubicación, nombre de la persona responsable del muestreo.
- Los recipientes se encontraron correctamente tapados y se trasladaron al laboratorio encargado.

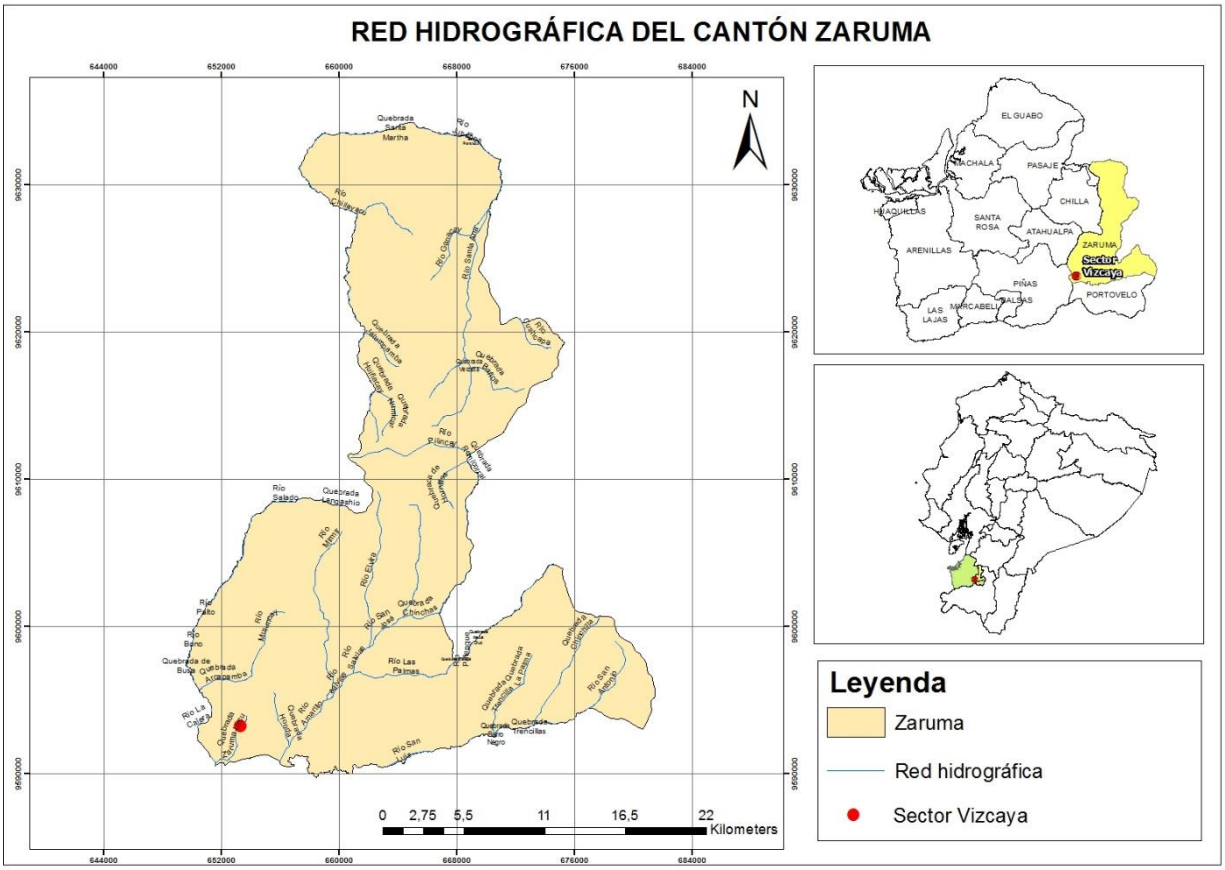
Este análisis que se realizó fue el preliminar con el cual se pudo determinar la cantidad de mercurio inicial del proyecto.

Figura 9. Análisis inicial



Fuente: Autores

Figura 10: Red hidrográfica del Cantón Zaruma.



Fuente: Autores

En la figura 10 se muestra la red hidrográfica que comprende nuestra área de estudio, en donde se observa que la quebrada Zaruma-Urco es la afectada por las descargas de aguas residuales no tratadas de los procesos mineros artesanales.

Figura 11: Almacenamiento de agua residuales del proceso minero artesanal

Fuente: Autores.

2.1.2.2. Caracterización del biochar.

Según (IBI, 2015) nos indica una serie de parámetros que se deben tomar en cuenta para la caracterización del biochar, entre los más importantes tenemos los análisis de contenido de humedad, cenizas, material volátil y carbono que se realizaron en el biochar porcino y vacuno obtenido, los mismos que se enviaron para su previo análisis al laboratorio Lab-Metalor.

2.1.2.2.1. pH y alcalinidad.

Para determinar el pH del biochar se realizó una disolución de 10 g de biochar en 90 ml de agua destilada, con agitación constante, a la solución resultante se le midió con un pH-metro Mettler Toledo, la prueba se llevó a cabo con tres muestras para validar de forma más efectiva los datos y evitar errores.

La determinación de la alcalinidad se realizó por medio de titulación, el cual consistió en pesar 18 g de la muestra y disolverlos en 200 ml de agua destilada y se agitó por 30 minutos. Se tomó 50 ml de la solución filtrada y se añadió 5 gotas de fenolftaleína y se procedió a titular con HCL al 0.1 N y se determinó la alcalinidad mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 3. Porcentaje de alcalinidad

$$\%\ de\ alcalinidad = \frac{(gasto\ de\ NaOH * N * F * meq\ del\ acido)}{peso\ de\ la\ muestra} * 100$$

Donde:

- Gasto NaOH: cantidad de ml de NaOH ocupamos para la titulación
- N: Normalidad del NaOH
- F: factor de la solución NaOH
- Meq del ácido: constante de miliequivalentes del NaOH

2.1.2.2.2. Densidad aparente.

La densidad aparente se llevó a cabo mediante el método de la probeta que consistió en introducir 2 g de la muestra en una probeta previamente pesada y compactarla hasta que esta se encontró homogéneamente distribuida, luego se midió el volumen ocupado por la muestra y se pesó la probeta con la muestra, la prueba se llevó a cabo con tres muestras para validar de forma más efectiva los datos y evitar errores, se determinó la densidad mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 4. Densidad aparente

$$\delta A = \frac{Wpm - Wp}{V}$$

Donde:

- Wpm= peso de la probeta con la muestra
- Wp= peso de la probeta vacía
- V= volumen ocupado por la muestra en la probeta

2.1.2.2.3. Densidad real

El método que se utilizó para determinar la densidad real es la del picnómetro. En primer lugar, se determinó el peso del picnómetro que fue utilizado, luego se agregó 0,5 g de la muestra y se pesó nuevamente, posteriormente se aforó el picnómetro con agua destilada y se pesó, procurando secar bien el picnómetro para evitar errores de medición. Por último, se pesó el picnómetro solo con agua destilada, la prueba se llevó a cabo con tres muestras para evitar errores y con los datos obtenidos se aplicó la siguiente ecuación para obtener la densidad real.

Ecuación 5. Densidad real

$$\delta R = \frac{Wpm - Wp}{m + Wpw - Wpmw} * \delta w$$

Donde:

- m= masa
- Wp= peso del picnómetro vacio
- Wpm= peso del picnómetro con la muestra
- Wpw= peso del picnómetro con agua
- Wpmw= peso del picnómetro con la muestra y aforado con agua destilada
- δw= densidad del agua (kg/m^3)

2.1.2.2.4. Determinación de la porosidad

Para nuestra investigación es de gran importancia determinar la porosidad pues este es un parámetro que nos proporcionó un estimado de la estructura de la superficie del

sólido y debido a que es en los poros en donde se va a retener los iones de metal, la porosidad se determinó utilizando la densidad real y aparente como se puede observar en la ecuación 6:

Ecuación 6. Determinación de la porosidad

$$E = \frac{\delta R - \delta A}{\delta R} * 100$$

Donde:

- δR= densidad real
- δA= densidad aparente

2.1.2.2.5. Microscopía electrónica de barrido (SEM)

Para realizar este análisis se lo hizo en los laboratorios de la Escuela Superior del Litoral (ESPOL), fue realizado con un microscopio de barrio de marca FEI, modelo Inspect (Anexo 2).

2.1.3. Fase tres

2.1.3.1. Determinación de la carga óptima

Para la evaluación de la carga óptima de biochar se realizaron ensayos variando la cantidad de gramos de biochar, se tomaron 10 g, 15 g y 20 g en un vaso de precipitado, se adicionó 700 ml de agua contaminada (figura 12) y se agitó con un agitador orbital a 200 rpm durante 1 hora, transcurrido este tiempo se filtró el agua y se envió al laboratorio para el análisis respectivo, los resultados obtenidos se colocaron en la siguiente tabla:

Tabla 4: Proceso de remoción en función de la carga

Parámetro	Biochar porcino			Biochar vacuno			Biochar porcino-vacuno		
	10g	15 g	20 g	10g	15 g	20 g	10g	15 g	20 g
Hg									
pH									
Conductividad									

Fuente: Autores

Figura 12: Determinación carga óptima

Fuente: Autores

2.1.3.2. Determinación del tiempo óptimo

Para determinar el tiempo de remoción óptimo se realizaron ensayos manteniendo la carga óptima que se determinó en el paso anterior, se varió el tiempo de contacto desde 30 hasta 120 minutos. Para su procedimiento se colocó la cantidad de biochar óptimo en un vaso de precipitado y se colocó 700 ml de agua contaminada, se agitó con un agitador orbital a 200 rpm durante el tiempo establecido y una vez finalizado se filtraron las muestras (figura 13) y se realizaron los análisis para establecer cuál es el tiempo óptimo.

Tabla 5: Proceso de remoción en función del tiempo

Parámetro	Biochar porcino			Biochar vacuno			Biochar porcino - vacuno		
	60 min	90 min	120 min	60 min	90 min	120 min	60 min	90 min	120 min
Hg									
pH									
Conductividad									

Fuente. Autores

Figura 13: Determinación tiempo óptimo

Fuente: Autores

Capítulo 3

3.1. Resultados

En este capítulo presentamos los resultados obtenidos en nuestro trabajo experimental, los mismos que son favorables, es decir, mostraron que es factible el uso de biochar como adsorbente de mercurio en aguas residuales de la minería artesanal.

3.1.1. Humedad de la materia prima

Uno de los primeros parámetros a analizarse fue la humedad de la materia prima luego de su proceso de secado, los resultados obtenidos por las siguientes ecuaciones se muestran en la tabla 6:

$$Humedad\ E.Porcino = \frac{18.18\ kg - 14.27\ Kg}{14.27\ Kg} * 100$$

$$\boldsymbol{Humedad\ E.Porcino = 27.40}\ \%$$

$$Humedad\ E.Vacuno = \frac{37.5\ Kg - 29.5\ Kg}{29.5\ Kg} * 100$$

$$\boldsymbol{Humedad\ E.Vacuno = 27.11}\ \%$$

Tabla 6: Humedad del estiércol

Estiércol	**% de humedad**
Estiércol porcino	27.40
Estiércol vacuno	27.11

Fuente. Autores

Se logró que el estiércol quede con una humedad del 27.40 % para el estiércol porcino y 27.11 % en el estiércol vacuno, con lo cual decimos que nos encontramos dentro del rango adecuado para su pirólisis, ya que como se indicó en el punto 2.1.1.1 la humedad debe estar entre el 20-30%.

3.1.2. Producción del biochar

Varios factores son los que pueden influenciar dentro del rendimiento del biochar, estos pueden ser: las velocidades de calentamiento, la humedad y la composición química de la materia prima. Los resultados obtenidos por la ecuación del rendimiento de la carbonización se indican en la tabla 7:

$$Rend.\,de\ la\ carbonización\ B.Porcino = \frac{3.0551\ Kg}{5.3830\ Kg} * 100$$

$$\boldsymbol{Rendimiento\ de\ la\ carbonización\ B.Porcino = 56.75}\ \%$$

$$Rend.\,de\ la\ carbonización\ B.Porcino = \frac{1.2163\ Kg}{2.8470\ Kg} * 100$$

$$\boldsymbol{Rendimiento\ de\ la\ carbonización\ B.Porcino = 42.72}\ \%$$

Tabla 7: Rendimiento del biochar

Biochar	**% de rendimiento**
Biochar porcino	56.75
Biochar vacuno	42.72

Fuente: Autores

Anteriormente en el tabla señalamos los diferentes tipos de rendimientos que cada uno de los biochars presentan, recalcando que el que posee mayor rendimiento es el estiércol porcino, ya que al ser pirolizado nos da como resultado 56.75% siendo mayor respecto al vacuno que tiene un rendimiento de 42.72%

3.1.3. Análisis de agua

En la tabla 8 tenemos el valor inicial de mercurio que se encuentra presente en el agua, el análisis se llevó a cabo en el laboratorio Lab-Metalor bajo el método de absorción atómica en horno de grafito (Anexo 1), con el fin de poder establecer la cantidad de mercurio inicial presente en el agua y luego poder evaluar los diferentes procesos de

adsorción aplicando el biochar. Los resultados entregados por el laboratorio son los siguientes:

Tabla 8: Análisis inicial de agua residual

Muestra inicial	**Concentración de mercurio (mg/L)**
Agua residual del proceso minero artesanal	0.461
pH	6.09

Fuente: Autores

3.1.4. Caracterización del Biochar

A continuación, se indica cada uno de los parámetros analizados con sus respectivos resultados, utilizando tres muestras por cada uno de los dos tipos de biochar planteados, como se describe en la fase 2 para así obtener resultados más exactos.

3.1.4.1. pH

Como se puede observar en la tabla 9, el pH se analizó por triplicado obteniendo una varianza y desviación estándar baja para los dos tipos de biochar.

Tabla 9: pH biochar vacuno y porcino

Parámetro	**Muestra 1**	**Muestra 2**	**Muestra 3**	**Media**	**Varianza**	**Desviación estándar**
pH-B.porcino	10.60	10.52	10.30	10.47	0.024	0.155
pH-B.vacuno	11.01	10.82	10.50	10.77	0.066	0.257

Fuente: Autores

Hemos podido determinar que tanto el biochar vacuno como el biochar porcino tienen un pH básico medio de 10.47, siendo la muestra 1 la que tiene el mayor valor de pH, seguida de la muestra dos y tres. En lo que respecta al pH del biochar vacuno se obtuvo el valor medio de 10.77 siendo la muestra 1 la que tiene un valor mayor de 11.01 seguida de la muestra dos y tres.

Analizando los resultados obtenidos podemos ver que el biochar vacuno posee valores de pH más altos que el porcino, sin embargo esta diferencia es relativamente pequeña, esto se debe a que según (Balta, 2019) nos indica que la temperatura y la materia prima son los principales factores que influyen en el pH del biochar, es por tanto que a temperaturas bajas se obtendrá un biochar ácido mientras que a temperaturas altas un biochar básico.

3.1.4.2. Densidad aparente y real.

En la tabla 10 tenemos las características físicas del biochar porcino, la densidad real y aparente se analizaron por triplicado, teniendo así una varianza y desviación estándar baja y alta respectivamente.

Se consiguió una densidad real media de 1390.94 Kg/m^3 y 152.78 Kg/m^3 para la densidad aparente. Se observa que la muestra 3 tiene los valores más altos para densidad real, seguida de la muestra 1 y finalmente muestra 2, a diferencia de la densidad aparente en la cual los valores más altos fueron para la muestra 3, seguida de la muestra 2 y finalmente la muestra 1.

Tabla 10: Densidad biochar porcino

Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Media	Varianza	Desviación estándar
Densidad real (Kg/m^3)	1390.48	1386.45	1395.89	1390.94	22.43	4.73
Densidad aparente (Kg/m^3)	151.79	152.85	153.72	152.78	0.93	0.96

Fuente: Autores

En la tabla 11 tenemos las características físicas del biochar vacuno, las densidades se analizaron por triplicado, teniendo así una varianza y desviación estándar alta. Se consiguió una densidad real de 1916.77 Kg/m^3 y 67.98 Kg/m^3 para la densidad aparente. Así mismo en la tabla, determinamos que la muestra que posee mayor densidad real es la número 2, seguida de la muestra 3 y muestra 1, a diferencia de la densidad aparente en la cual la muestra 1 presenta un mayor valor con respecto a la muestra 2 y 3, respectivamente.

Tabla 11: Densidad biochar vacuno

Parámetro	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Media	Varianza	Desviación estándar
Densidad real (Kg/m^3)	1913.68	1920.77	1915.88	1916.77	13.17	3.62
Densidad aparente (Kg/m^3)	69.31	67.76	66.88	67.98	1.51	1.23

Fuente: Autores

La densidad dependerá de la materia prima con la que se elabora el biochar, la misma que no afectará al proceso de adsorción. Analizando los resultados de la densidad, se tiene

que el biochar vacuno presenta una alta densidad real con respecto al biochar porcino y una baja densidad aparente con respecto al mismo, la diferencia entre los resultados es relativamente significativa.

3.1.4.3. Porosidad.

Se presenta resultados de porosidad, analizados en los dos tipos de biochar planteados, la misma que se llevó a cabo con tres muestras de los dos diferentes tipos de biochar, para posterior a esto tener resultados más exactos mediante la media.

Tabla 12: Porosidad del biochar

Parámetro	**Muestra 1**	**Muestra 2**	**Muestra 3**	**Media**	**Varianza**	**Desviación estándar**
Porosidad biochar porcino (%)	89.08	88.97	88.98	89.01	0.004	0.060
Porosidad biochar vacuno (%)	96.37	96.47	96.50	96.44	0.005	0.068

Fuente: Autores

Como se puede observar en la tabla 12, se analizó la porosidad del biochar porcino y vacuno obteniendo una media de 89.01% y 96.44% respectivamente, notoriamente la muestra 1 de biochar porcino posee mayor porosidad a comparación que la muestra 2 y 3, sin embargo la porosidad para el biochar vacuno en la muestra 3 es mayor que la muestra 2 y 3 aunque su diferencia es muy relevante, la porosidad es un parámetro importante en la adsorción ya que en los poros se van a almacenar los iones metálicos que son adsorbidos, según los porcentajes obtenidos podemos decir que el biochar vacuno

posee una mayor porosidad que el biochar porcino, por lo tanto el mismo tendrá una mayor capacidad de adsorción.

3.1.4.4. Características químicas del biochar

Se presentan en la tabla 13 los resultados de cada uno de los parámetros que intervienen dentro de las características químicas del biochar como: alcalinidad, humedad, cenizas, material volátil y carbono.

Tabla 13: Características químicas del biochar

Parámetros	**Biochar porcino**	**Biochar vacuno**
Alcalinidad (mg/kg $CaCO_3$)	574.11	986.32
Humedad (%*Kg) (Anexo 3)	6.62	1.15
Cenizas (%*Kg) (Anexo 3)	70.04	56.09
Material Volátil (%*Kg) (Anexo 3)	0.010	0.008
Carbono (%*Kg) (Anexo 3)	29.96	43.91.

Fuente: Autores

Según (Trujillo, 2017) nos indica que una de las propiedades comunes que presentan los biochars es su alcalinidad, la misma que dependerá de la materia prima y temperatura de la pirólisis, con respecto a esto tenemos una alcalinidad de 574.11mg/kg $CaCO_3$ para biochar porcino y 986.32 mg/kg $CaCO_3$ para biochar vacuno, siendo el biochar vacuno el que posee mayor alcalinidad, identificado esto, concluimos que los dos tipos de biochar cumplen con esta propiedad, sin embargo, podemos deducir que el biochar vacuno es más óptimo en cuanto a los resultados de alcalinidad que presenta.

Otro de los parámetros analizados fue la humedad, la cual para el biochar vacuno es de 1.15 %*Kg y para biochar porcino es de 6.62 %*Kg, como se observa el biochar porcino presenta mayor humedad, resultado que dependerá de la forma de almacenamiento de las muestras y de la humedad de la materia prima.

Así también se determinó el contenido de cenizas, material volátil y carbono obteniendo resultados de: 56.09 %*Kg, 0.008 %*Kg, 43.91 %*Kg para biochar vacuno y para biochar porcino de 70.04 %*Kg, 0.010 %*Kg y 29.96 %*Kg respectivamente.

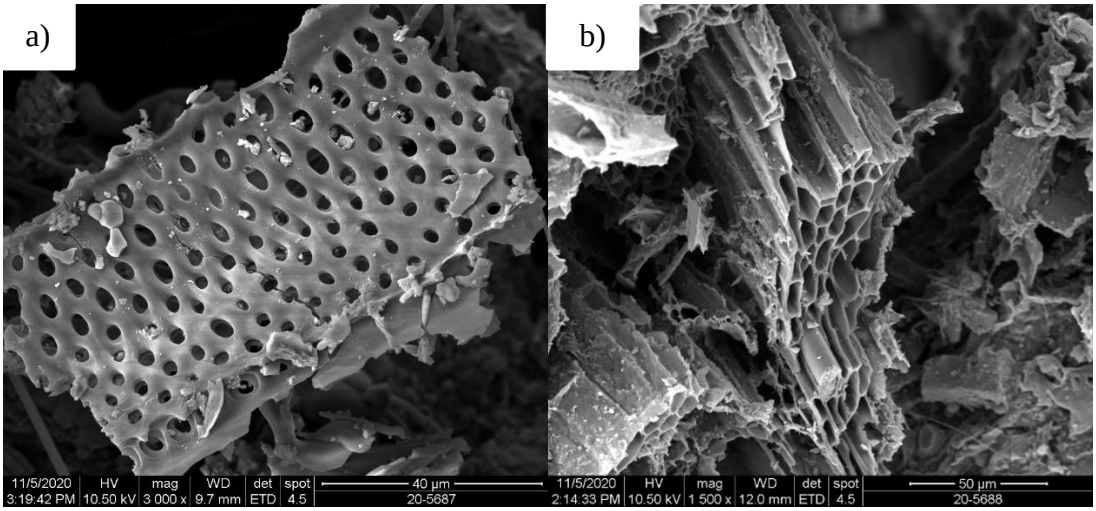
La presencia de cenizas en el biochar denota el contenido de componentes inorgánicos como macro y micronutrientes, teniendo como resultado una relación directamente proporcional con respecto a la temperatura de pirolisis.

En cuanto al carbono y material volátil registrados en la tabla 13 indican que tienen una relación inversamente proporcional, ya que a mayor temperatura menor presencia de materia volátil y mayor contenido de carbono, del mismo modo la repelencia del biochar al agua dependerá de la cantidad de material volátil presente en el mismo, notablemente, los biochars que obtuvimos son aptos para aplicar en aguas ya que presentan valores menores a 1 en su contenido de material volátil

3.1.4.5. Microscopía electrónica de barrido (SEM).

A continuación se observa las imágenes obtenidas por la microscopía electrónica de barrido en las que se han ocupado una magnificación de 1500x y 3000x de cada una de las muestras (Anexo 2).

Figura 14: a) SEM Biochar porcino, b) SEM Biochar vacuno



Realizado: ESPOL

Como se puede contemplar en la figura 14, se tiene que la morfología de los biochar es heterogénea, en la figura a presenta una superficie regular que no es 100% lisa en la cual la adsorción puede ocurrir por fuerzas electroestáticas, mientras que en la figura b se observa que su morfología es similar a tubos capilares, lo que nos indica que se puede tener una mayor capacidad de adsorción ya que los metales pesados se van adherir con mayor facilidad, lo que sucede en menor proporción cuando se presentan superficies totalmente lisas, la diferencia que existe entre las morfologías de los dos biochars depende mucho de la alimentación que tiene cada especie.

3.1.5. Determinación de carga óptima

En la tabla 14 vamos a determinar la carga óptima, para lo cual hemos utilizado tres cantidades diferentes de biochar: 10, 15 y 20 gramos.

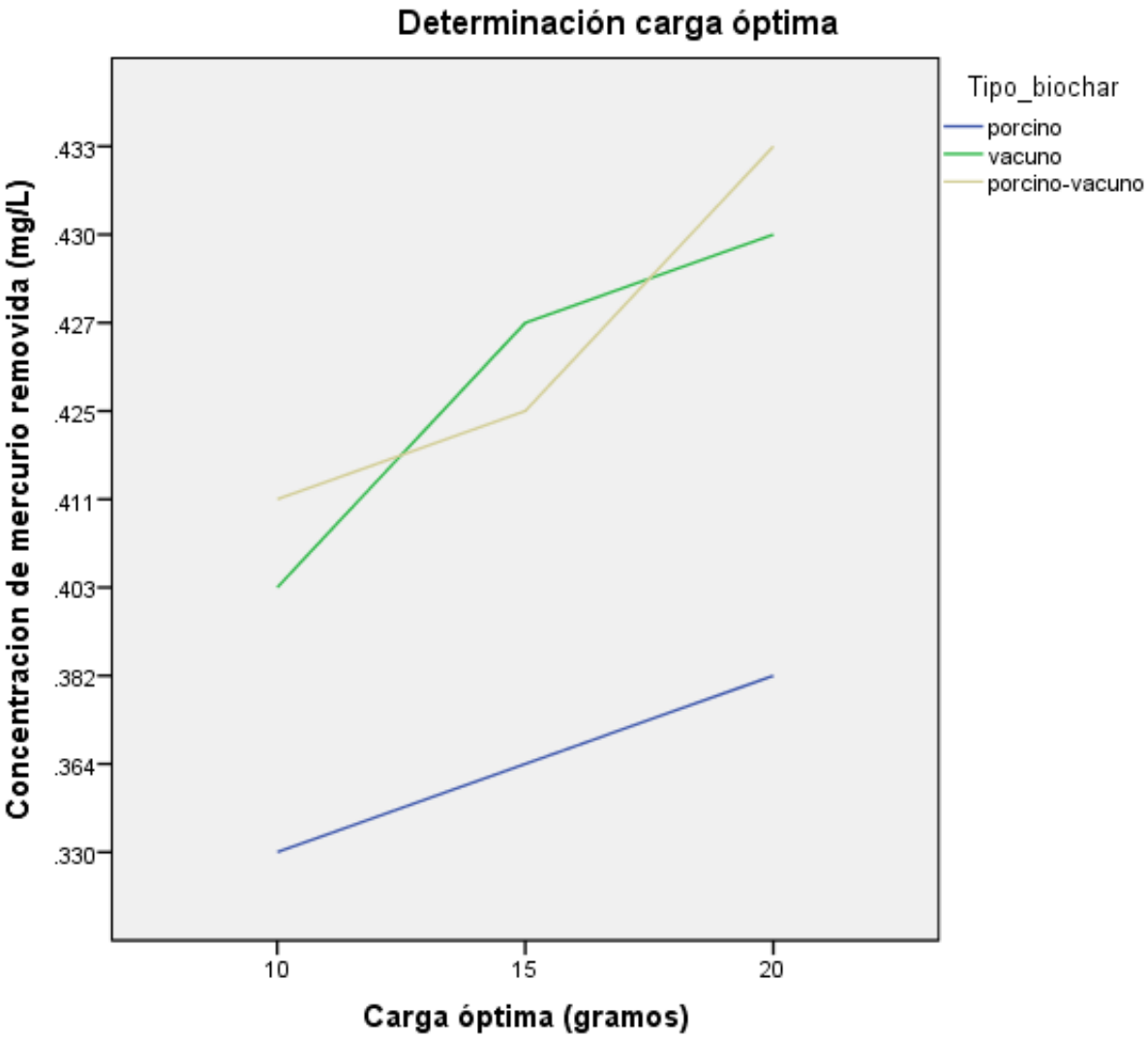
Tabla 14: Determinación de carga óptima

Parámetro	Biochar porcino			Biochar vacuno			Biochar porcino-vacuno		
	10g	**15 g**	**20 g**	**10g**	**15 g**	**20 g**	**10g**	**15 g**	**20 g**
Mercurio (mg/L) (Anexo 2)	0.131	0.097	0.079	0.058	0.034	0.031	0.050	0.036	0.028
Concentración removida (mg/L)	0.330	0.364	0.382	0.403	0.427	0.430	0.411	0.425	0.433
pH	7.07	7.55	7.65	7.53	8.68	9.84	7.85	8.75	9.62
Conductividad (uS/cm)	1058	1405	1949	1246	2150	2621	1309	1672	2114

Fuente: Autores.

Como se observa en la figura 15, para biochar porcino, vacuno y porcino-vacuno tenemos que cuando se aplica 20 gramos se obtiene una mayor concentración removida obteniendo valores de 0.382, 0.430, 0.433 mg/L respectivamente, es por esta razón que la carga óptima escogida fue de esta cantidad para el siguiente proceso de determinar el tiempo óptimo.

Figura 15: Determinación carga óptima



Fuente: Autores.

El pH varió debido a que el biochar vacuno tiene mayor alcalinidad que el porcino, en efecto ocurre lo mismo en la mezcla de biochar porcino-vacuno, para la conductividad el pH va a tener una influencia directa.

3.1.6. Determinación de tiempo óptimo

Para la determinación de tiempo óptimo nos basamos en la carga óptima seleccionada con anterioridad, como se puede observar en la tabla 15, el análisis se basó en la concentración de mercurio removida por el biochar.

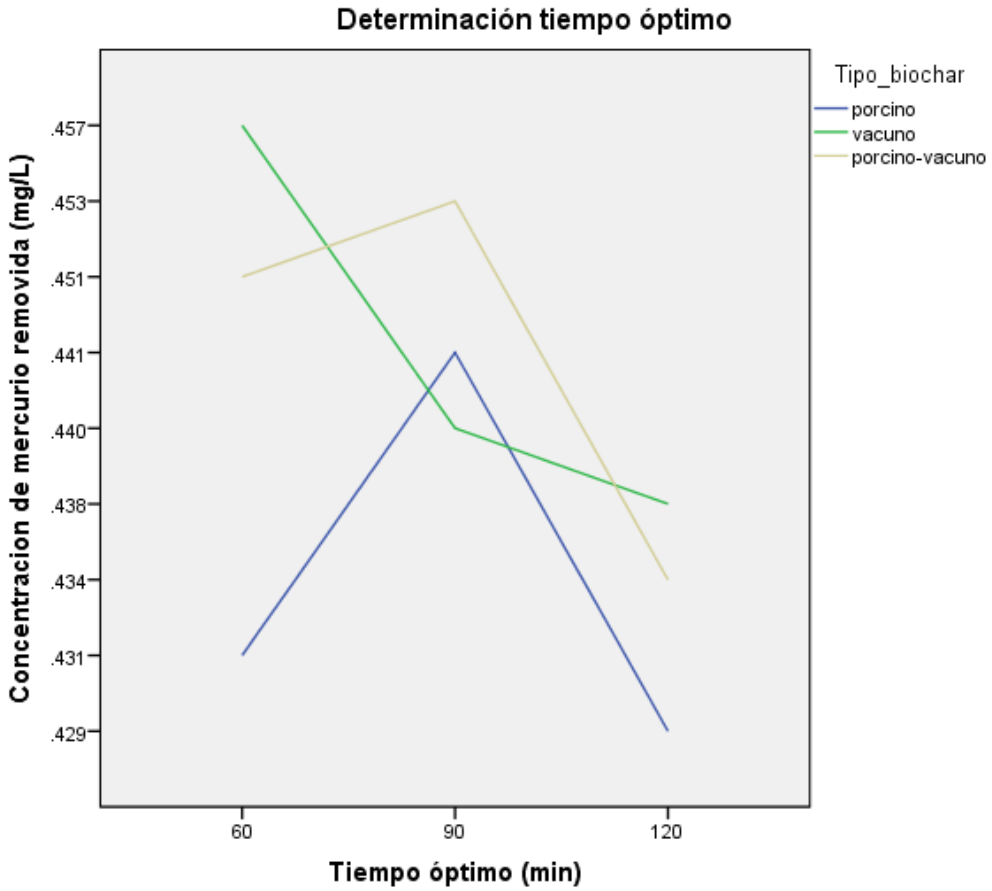
Tabla 15. Determinación tiempo óptimo

Parámetro	Biochar porcino			Biochar vacuno			Biochar porcino - vacuno		
	60 min	**90 min**	**120 min**	**60 min**	**90 min**	**120 min**	**60 min**	**90 min**	**120 min**
Mercurio (mg/L) (Anexo 3)	0.030	0.020	0.032	0.004	0.021	0.023	0.010	0.008	0.027
Concentración removida (mg/L)	0.431	0.441	0.429	0.457	0.440	0.438	0.451	0.453	0.434
pH	7.72	8.47	7.93	9.59	9.74	9.58	8.34	9.03	8.66
Conductividad (uS/cm)	1665	2101	2098	1992	2120	2416	2289	2574	2153

Fuente: Autores

Como podemos observar en la figura 16, el tiempo óptimo para biochar porcino es de 90 min con una concentración de mercurio removida de 0.441 mg/L y 0.020 mg/L de mercurio presente en el agua, para biochar vacuno es de 60 min con una concentración de mercurio removida de 0.457 mg/L y 0.004 mg/L de mercurio presente en el agua y finalmente para biochar porcino-vacuno es de 90 min obteniendo una concentración de mercurio removida de 0.453 mg/L y 0.008 mg/L de mercurio presente en el agua.

Figura 16: Determinación tiempo óptimo



Fuente: Autores

Según los resultados obtenidos para biochar porcino y porcino-vacuno en un tiempo medio se tienen una alta adsorción de mercurio, cuando se aumenta el tiempo de residencia en los biochars existe una menor adsorción de mercurio, esto ocurre debido a que puede existir una saturación en los poros.

En la tabla 16, se indican los parámetros obtenidos luego de la determinación del tiempo y carga óptima con respecto a los valores establecidos en el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA), es decir que 0.004 mg/L que pertenece al biochar vacuno es el que cumple con los límites máximos permisibles de mercurio en el agua.

Tabla 16: Comparación de biochar vs TULSMA

Parámetro	**Análisis inicial**	**Biochar porcino**	**Biochar vacuno**	**Biochar porcino-vacuno**	**TULSMA**
Mercurio (mg/L)	0.461	0.020	0.004	0.008	0.005
pH	6.09	8.47	9.59	9.03	5-9
Conductividad (milimhos/cm)	0.2859	2.1	1.99	2.5	Grado de restricción 0.7-Ninguno 0.7-Ligero 3.0-Moderado >3.0-Severo

Fuente: Autores

4. Conclusiones

A continuación se presentan las conclusiones de nuestro trabajo de investigación

Como consecuencia de la práctica de minería artesanal en el sector Vizcaya, se ha podido determinar el uso irracional de mercurio, ya que las aguas residuales de este proceso presentan concentraciones de 0.461 mg/L de mercurio, lo que excede los límites máximos permisibles del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente.

Los biochars de estiércol porcino y vacuno presentan un rendimiento favorable de 56.75% y 42.72% respectivamente a una temperatura de 400°C, de igual manera presentan diferentes características en su textura, siendo el biochar porcino más consistente, ya que el estiércol recolectado inicialmente contenía residuos de serrín de las porquerizas.

El biochar que presenta mayor pH es el vacuno a diferencial del porcino ya que este parámetro depende de la materia prima utilizada, los dos biochars elaborados son alcalinos, debido a la temperatura en la que se produjeron y a su velocidad de calentamiento.

Los valores obtenidos para la porosidad son de 89.01 % para el biochar porcino y 96.44 % para el biochar vacuno, como se puede evidenciar el biochar producido por estiércol vacuno tiene una alta porosidad, por lo tanto, se puede concluir que este retendrá mayor cantidad de mercurio.

Se obtuvieron valores de 0.010 %*Kg material volátil y 29.96 %*Kg de contenido de carbono para biochar porcino mientras que para el biochar vacuno los valores fueron de 0.008 %*Kg y 43.91 %*Kg respectivamente, logrando tener una relación inversamente

proporcional entre el material volátil y contenido de carbono, siendo esta unas de las características especiales que debe cumplir el biochar.

Se obtuvieron valores relativamente bajos de mercurio en agua, que fueron de 0.079 mg/L para biochar porcino, 0.031 mg/L para biochar vacuno y 0.028 mg/L para biochar porcino-vacuno, al aplicar los 20 gramos, con esto se define que esta es la carga óptima a utilizar ya que con los 10 y 15 gramos se obtuvieron valores más altos.

Además, se determinó que el tiempo óptimo para biochar porcino y porcino-vacuno es de 90 minutos, tiempo en el que se obtuvo una concentración de mercurio en agua de 0.020 mg/L y 0.008 mg/L respectivamente, a diferencia del biochar vacuno en el cual su tiempo óptimo es de 60 min consiguiendo una concentración de mercurio en agua de 0.004 mg/L.

En relación a lo antes expuesto, se deduce que el biochar más eficiente en la remoción de partículas de mercurio en agua es el vacuno, ya que al aplicarlo en aguas residuales de procesos mineros artesanales se han alcanzado valores significativos, los cuales cumplen los límites máximos permisibles de mercurio en agua, establecidos en la tabla 12 del anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente.

Se ha logrado gestionar de manera correcta y eficiente dos residuos que en la actualidad son difíciles de tratar, gracias a la transformación de los residuos ganaderos como lo es el estiércol en biochar, se obtuvo un material adsorbente adecuado para aplicarlo en aguas que contienen partículas de mercurio, devolviendo de esta manera al cauce natural aguas que cumplen los límites máximos permisibles de mercurio.

Se determina la importancia de la gestión adecuada de los residuos ganaderos ya que mediante la producción de biochar se puede prevenir los principales problemas

ambientales que genera este tipo de residuos, así también tratar con este innovador producto, aguas que se ven afectadas por el uso de mercurio en procesos mineros artesanales.

Como conclusión final, decimos que nuestro proyecto de investigación ha presentado resultados óptimos y favorables en la elaboración de biochar a partir de estiércol ganadero y su aplicación en aguas contaminadas con mercurio resultantes de los procesos mineros artesanales, ya que gracias a la propiedad de adsorción que posee el biochar se logró obtener una cantidad significativa de remoción de este metal, con esto se nos permite decir que se ha encontrado una nueva enmienda de remediación medioambiental y aplicación del biochar.

5. Recomendaciones

Es necesario buscar nuevas alternativas para la gestión de los residuos ganaderos, de esta manera se logrará disminuir parcial o totalmente el efecto que estos causan al ambiente.

Se necesita que las organizaciones mineras en conjunto con las que se encuentran dedicadas a la crianza de ganado formen alianzas apoyadas por las Universidades, con las cuales busquen alternativas sustentables que sean aplicables a sus sectores.

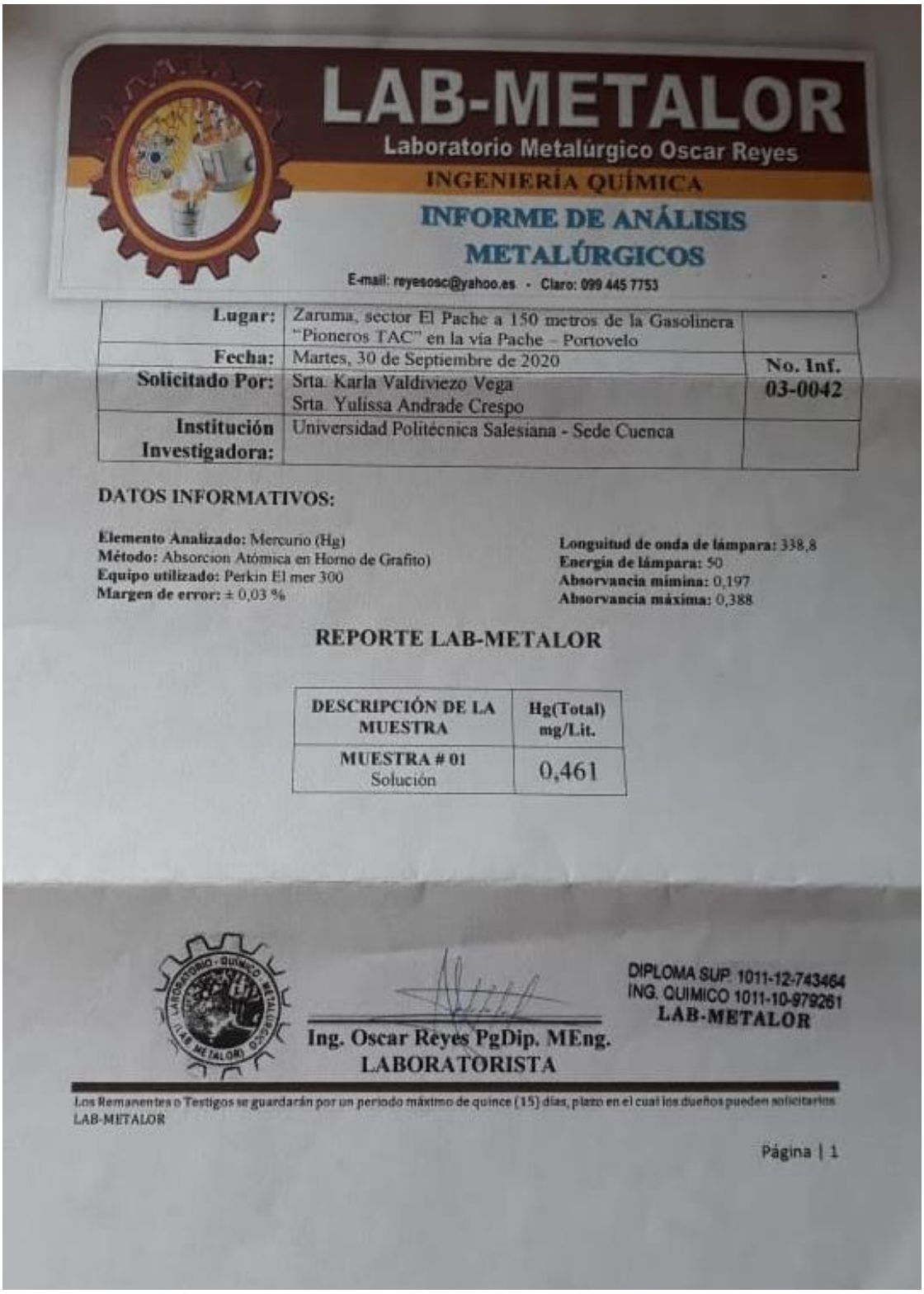
Se sugiere que las Universidades en conjunto con organizaciones que elaboren biochar desarrollen estándares a nivel nacional para la caracterización de este material.

Se recomienda que estos tipos de estudios lleguen a los Gobiernos Autónomos Descentralizados, Autoridades Ambientales y a las entidades mineras para que estas investigaciones sean adoptadas para mejorar la calidad de gestión de los residuos.

Finalmente se invita a que se realicen más investigaciones sobre el biochar ya que este es un nuevo tipo de enmienda que puede ser aplicado para descontaminar tanto el suelo como agua.

6. Anexos

Anexo 1: Análisis inicial de mercurio



LAB-METALOR

Laboratorio Metalúrgico Oscar Reyes

INGENIERÍA QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS METALÚRGICOS

E-mail: reyesosc@yahoo.es - Claro: 099 445 7753

Lugar:	Zaruma, sector El Pache a 150 metros de la Gasolinera "Pioneros TAC" en la vía Pache – Portovelo	
Fecha:	Martes, 30 de Septiembre de 2020	**No. Inf.**
Solicitado Por:	Srta. Karla Valdiviezo Vega Srta. Yulissa Andrade Crespo	**03-0042**
Institución Investigadora:	Universidad Politécnica Salesiana - Sede Cuenca	

DATOS INFORMATIVOS:

Elemento Analizado: Mercurio (Hg)
Método: Absorcion Atómica en Horno de Grafito)
Equipo utilizado: Perkin El mer 300
Margen de error: ± 0,03 %

Longuitud de onda de lámpara: 338,8
Energía de lámpara: 50
Absorvancia mímina: 0,197
Absorvancia máxima: 0,388

REPORTE LAB-METALOR

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	Hg(Total) mg/Lit.
MUESTRA # 01 Solución	0,461

DIPLOMA SUP. 1011-12-743464
ING. QUIMICO 1011-10-979261
LAB-METALOR

Ing. Oscar Reyes PgDip. MEng.
LABORATORISTA

Los Remanentes o Testigos se guardarán por un periodo máximo de quince (15) días, plazo en el cual los dueños pueden solicitarlos.
LAB-METALOR

Página | 1

Fuente: Lab-Metalor

Anexo 2: Microscopía electrónica de barrido

espol Laboratorio de Evaluación de Materiales

INFORME DE ENSAYOS / CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Hoja: 1 de 3 **Fecha de emisión:** 2020-11-06
Nº Informe: 20-238 **Número de Orden:** OT-2271-20

DATOS GENERALES DEL CLIENTE			
Nombre:	ANDRADE CRESPO JULISSA ESTEFANIA		
Dirección	Gerona (Cuenca)		
Teléfono:	0991436596	**Correo electrónico:**	jandrade10@est.ups.edu.ec
Persona de Contacto:		Srta. Julissa Estefania Andrade Crespo	

DATOS DE LA MUESTRA

Código de Muestra LEMAT	Descripción de la muestra proporcionada por el cliente	Fecha de Recepción	Muestreo realizado por	Preparación de muestra realizada por	Condición de entrega de la muestra previa al ensayo	Fecha de Ensayo
20-5687	Biocarbón porcino	2020-10-30	☑ Cliente ☐ Otros ☐ No aplica	☑ Cliente ☐ LEMAT ☐ No aplica	☐ Acorde a norma ☐ No acorde a norma ☑ No aplica	2020-11-05
20-5688	Biocarbón vacuno	2020-10-30	☑ Cliente ☐ Otros ☐ No aplica	☑ Cliente ☐ LEMAT ☐ No aplica	☐ Acorde a norma ☐ No acorde a norma ☑ No aplica	2020-11-05

MC2203-02

Los resultados declarados en este informe se refieren únicamente a los objetos ensayados o calibrados.
Las opiniones, interpretaciones, inspecciones, etc. que se indiquen en este informe, están fuera del alcance de acreditación del SAE.
Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del *Laboratorio de Evaluación de Materiales*.
Campus Gustavo Galindo Velasco, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción.
km 30.5 Vía Perimetral (Telf.: (593-4) 2269 269 ext. 1375 | e-mail: lemat@espol.edu.ec
Guayaquil – Ecuador
MC2201-06

Fuente: ESPOL

espol Laboratorio de Evaluación de Materiales

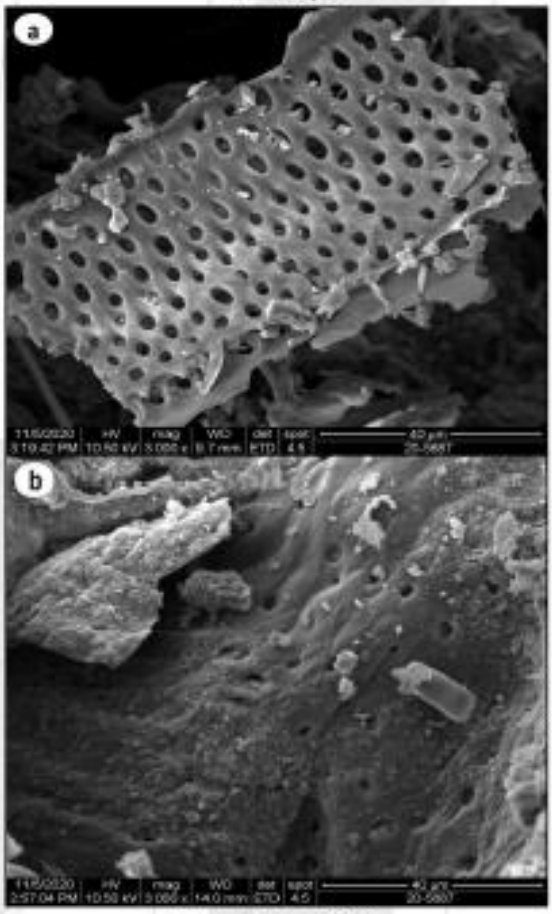
INFORME DE ENSAYOS / CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Hoja: 2 de 3
Nº Informe: 20-238

Fecha de emisión: 2020-11-06
Número de Orden: OT-2271-20

MICROSCOPÍA ELECTRÓNICA DE BARRIDO - SEM

Código de muestra: 20-5687
Equipo empleado: Microscopio electrónico de barrido
Marca: FEI
Modelo: Inspect



Fotografía 1. Muestra 20-5687.

OBSERVACIONES:
La muestra y la información de la misma fueron proporcionadas por el cliente.

Los resultados declarados en este informe se refieren únicamente a los objetos ensayados o calibrados.
Las opiniones, interpretaciones, inspecciones, etc. que se indiquen en este informe, están fuera del alcance de acreditación del SAE.
Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del *Laboratorio de Evaluación de Materiales*.
Campus Gustavo Galindo Velasco, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción.
Km 30.5 Vía Perimetral (Tlf.: (593-4) 2269 269 ext. 1375 | e-mail: lemat@espol.edu.ec
Guayaquil – Ecuador
MC2201-06

Fuente: ESPOL

espol Laboratorio de Evaluación de Materiales

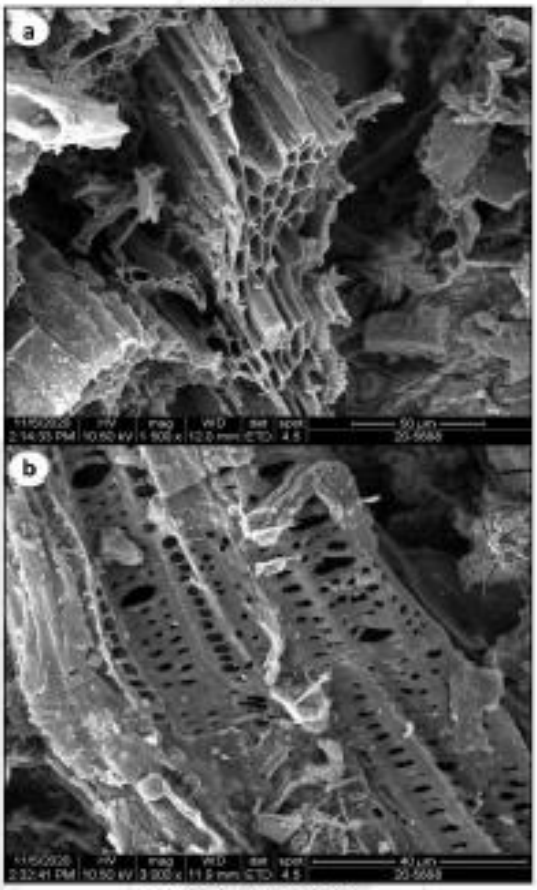
INFORME DE ENSAYOS / CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

Hoja: 3 de 3
Nº Informe: 20-238

Fecha de emisión: 2020-11-06
Número de Orden: OT-2271-20

MICROSCOPÍA ELECTRÓNICA DE BARRIDO - SEM

Código de muestra: 20-5688
Equipo empleado: Microscopio electrónico de barrido
Marca: FEI
Modelo: Inspect



Fotografía 2. Muestra 20-5688.

OBSERVACIONES:
La muestra y la información de la misma fueron proporcionadas por el cliente.

Ing. Erick Gutiérrez Z.
Técnico del Laboratorio

Ing. María José Bastidas R.
Responsable de Calidad

Los resultados declarados en este informe se refieren únicamente a los objetos ensayados o calibrados.
Las opiniones, interpretaciones, inspecciones, etc. que se indiquen en este informe, están fuera del alcance de acreditación del SAE.
Se prohíbe la reproducción total o parcial del presente informe, salvo aprobación escrita del *Laboratorio de Evaluación de Materiales*.
Campus Gustavo Galindo Velasco, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción.
Km 30.5 Vía Perimetral (Tel.: (593-4) 2269 269 ext. 1375 | e-mail: lemat@espol.edu.ec
Guayaquil - Ecuador
MC2201-06

Fuente: ESPOL

Anexo 3: Análisis químico del biochar

LAB - METALOR

Laboratorio Químico Metalúrgico Oscar Reyes

Informe de análisis químico

Email: reyesosc@yahoo.es Celular: 0994457753

Lugar:	Zaruma, sector El Pache a 150 metros de la Gasolinera "Pioneros TAC" en la vía Pache – Portovelo	
Fecha:	Martes, 24 de Noviembre de 2020	**No. Inf.** 03 - 0141
Solicitado Por:	Srta. Karla Valdiviezo Vega Srta. Yulissa Andrade Crespo	
Institución Investigadora:	Universidad Politécnica Salesiana - Sede Cuenca	

REPORTE DE *GESTIÓN AMBIENTAL*
LAB-METALOR

DATOS INFORMATIVOS:

Metodo: Calcinación (Vía Seca)
Equipo: Horno Mufla (Cap. Aforo 40 crisoles)
Temp. Min: 27 °C
Temp. Máx: 960 °C

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	Humedad (Total) %*Kg.	Carbón Total %*Kg.	Cenizas Totales %*Kg..	Volatilidad Total %*Kg..
Muestra 1 Bio-carbón Porcino.	6,62	29,96	70,04	0,010
Muestra 2 Bio-carbón Vacuno.	1,15	43,91	56,09	0,008

Ing. Oscar Reyes PgDip. MEng.
LABORATORISTA

DIPLOMA SUP. 1011-12-743464
ING. QUIMICO 1011-10-979281
LAB-METALOR

Los Remanentes o Testigos se guardarán por un periodo máximo de quince (15) días, plazo en el cual los dueños pueden solicitarlos. LAB-METALOR

Página | 1

Fuente: Lab-Metalor

Anexo 4: Análisis de determinación de carga óptima

LAB-METALOR

Laboratorio Metalúrgico Oscar Reyes

INGENIERÍA QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS METALÚRGICOS

E-mail: reyesosc@yahoo.es - Claro: 099 445 7753

Lugar:	Zaruma, sector El Pache a 150 metros de la Gasolinera "Pioneros TAC" en la vía Pache – Portovelo	
Fecha:	Domingo, 01 de Noviembre de 2020	**No. Inf. 03-0100**
Solicitado Por:	Srta. Karla Valdiviezo Vega Srta. Yulissa Andrade Crespo	
Institución Investigadora:	Universidad Politécnica Salesiana - Sede Cuenca	

DATOS INFORMATIVOS:

Elemento Analizado: Mercurio (Hg)
Método: Absorcion Atómica en Horno de Grafito)
Equipo utilizado: Perkin El mer 300
Margen de error: ± 0,03 %

Longuitud de onda de lámpara: 338,8
Energia de lámpara: 50
Absorvancia mínima: 0,188
Absorvancia máxima: 0,361

REPORTE LAB-METALOR

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	Hg(Total) mg/Lit.
Muestra 1 Bio-carbón Porcino 10 grs.	0,131
Muestra 2 Bio-carbón Porcino 15 grs.	0,097
Muestra 3 Bio-carbón Porcino 20 grs.	0,079

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	Hg(Total) mg/Lit.
Muestra 4 Bio-carbón Vacuno 10 grs.	0,058
Muestra 5 Bio-carbón Vacuno 15 grs.	0,034
Muestra 6 Bio-carbón Vacuno 20 grs.	0,031

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	Hg(Total) mg/Lit.
Muestra 7 Bio-carbón (50/50) 5 grs Vacuno ; 5 grs Porcino V/P	0,050
Muestra 8 Bio-carbón Vacuno - Porcino 7,5grs – 7,5 grs. V/P	0,036
Muestra 9 Bio-carbón Vacuno - Porcino 10 grs – 10 grs. V/P	0,028

Página | 1

Fuente: Lab-Metalor

Anexo 5: Análisis de determinación de tiempo óptimo

LAB-METALOR

Laboratorio Metalúrgico Oscar Reyes

INGENIERÍA QUÍMICA

INFORME DE ANÁLISIS METALÚRGICOS

E-mail: reyesosc@yahoo.es - Claro: 099 445 7753

Lugar:	Zaruma, sector El Pache a 150 metros de la Gasolinera "Pioneros TAC" en la vía Pache – Portovelo	
Fecha:	Lunes, 16 de Noviembre de 2020	**No. Inf. 03-0130**
Solicitado Por:	Srta. Karla Valdiviezo Vega Srta. Yulissa Andrade Crespo	
Institución Investigadora:	Universidad Politécnica Salesiana - Sede Cuenca	

DATOS INFORMATIVOS:

Elemento Analizado: Mercurio (Hg)
Método: Absorcion Atómica en Horno de Grafito)
Equipo utilizado: Perkin El mer 300
Margen de error: ± 0,03 %

Longuitud de onda de lámpara: 338,8
Energía de lámpara: 50
Absorvancia mínima: 0,178
Absorvancia máxima: 0,341

REPORTE LAB-METALOR

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	Hg(Total) mg/Lit.
Muestra 1 Bio-carbón Porcino 60 min.	0,030
Muestra 2 Bio-carbón Porcino 90 min.	0,020
Muestra 3 Bio-carbón Porcino 120 min.	0,032

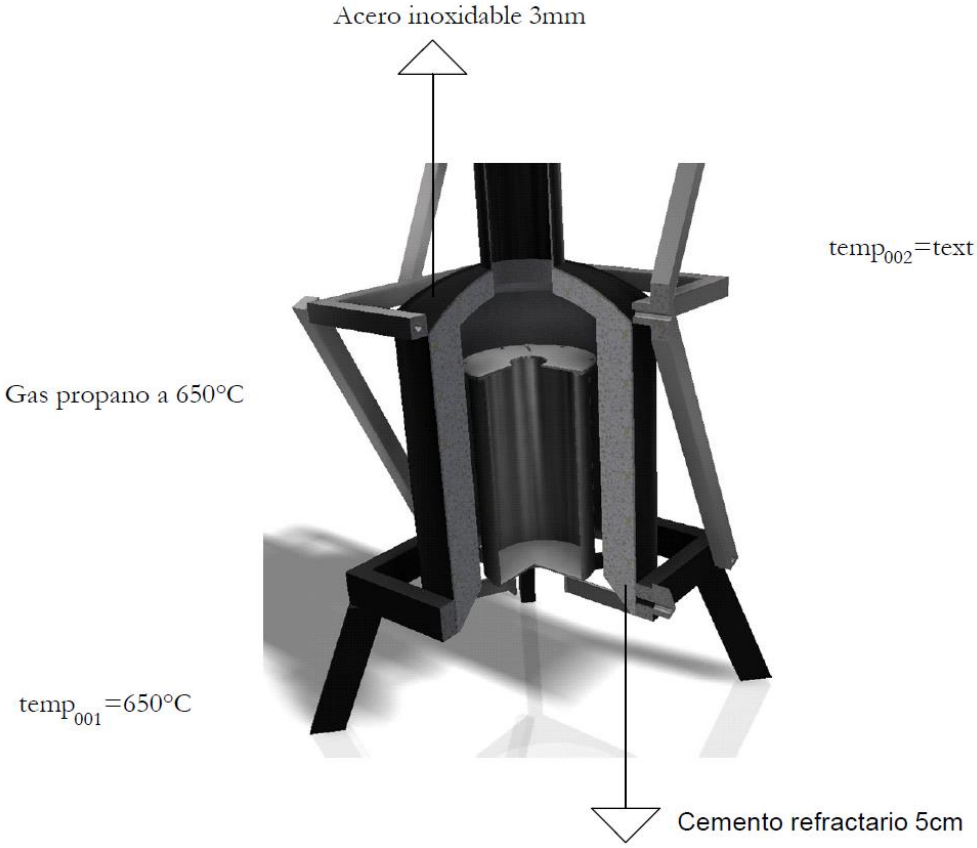
DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	Hg(Total) mg/Lit.
Muestra 4 Bio-carbón Vacuno 60 min.	0,004
Muestra 5 Bio-carbón Vacuno 90 min.	0,021
Muestra 6 Bio-carbón Vacuno 120 min.	0,023

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	Hg(Total) mg/Lit.
Muestra 7 Bio-carbón (50/50) V/P 60 min.	0,010
Muestra 8 Bio-carbón (50/50) V/P 90 min.	0,008
Muestra 9 Bio-carbón (50/50) V/P 120 min.	0,027

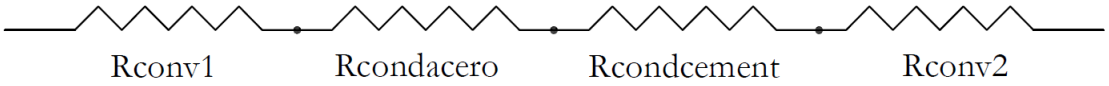
Página | 1

Fuente: Lab-Metalor

Anexo 6: Diseño equipo de pirólisis



Fuente: V-AST Diseño de Ingeniería



$$R_T = R_{con} + R_{acero} + R_{cemento} + R_{conv}$$

$$R_{acero} = \frac{e_{acero}}{k_{acero} \times A_{acero}}$$

$$R_{conv_1} = \frac{1}{h_{conv_1} \times A_{acero}}$$

$$R_{conv_2} = \frac{1}{h_{conv_2} A_{cemento}}$$

$$R_{cemento} = \frac{e_{cemento}}{k_{cemento} \times A_{acero}}$$

$$\dot{Q} = \frac{T_{001} - T_{002}}{R_{total}}$$

$$R_{total} = \frac{1}{h_{conv_1} \times A_{acero}} + \frac{e_{acero}}{k_{acero} \times A_{acero}} + \frac{e_{cemento}}{k_{cemento} \times A_{cemento}} + \frac{1}{h_{conv_2}\ A_{cemento}}$$

$$R_{total} = \frac{1}{A_{acero}}\left(\frac{1}{h_{conv_1}} + \frac{e_{acero}}{k_{acero}}\right) + \frac{1}{A_{cemento}}\left(\frac{1}{h_{conv_2}} + \frac{e_{cemento}}{k_{cemento}}\right)$$

$$R_{total} = \frac{1}{A_{acero}}\left(\frac{k_{acero} + e_{acero}\ h_{conv_1}}{h_{conv_1} k_{acero}}\right) + \frac{1}{A_{cemento}}\left(\frac{k_{cemento} + e_{cemento} h_{conv_2}}{h_{conv_2}\ k_{cemento}}\right)$$

$$A_{acero} = L_1 \times \pi \times \emptyset_{acero}$$

Donde:

L_1 es la altura del cilindro de acero

$$A_{cemento} = L_2 \times \pi \times \emptyset_{cemento}$$

Donde:

L_2 es la altura del cilindro de cemento

$$h_{conv_1} = \frac{Nu_1 \times k_1}{L_1}$$

Consideración flujo laminar:

$$Nu_1 = 0.664 \times\ ReL_1^{0.5} Pr_1^{1/3}$$

$$h_{conv_2} = \frac{Nu_2 \times k_2}{L_2}$$

$$Nu_2 = 0.664 \times\ ReL_2^{0.5} Pr_1^{1/3}$$

$k_{acero,}\ k_{cemento} \longrightarrow$ Tablas

$$k_{acero} = 15.6 \frac{W}{m°K}$$

$$k_{cemento} = 0.54 \frac{W}{m°K}$$

$$R_{total} = \frac{e_{acero}}{A_1 k_{acero}} + \frac{e_{cemento}}{A_2 k_{cemento}}$$

$$A_1 = A_2 = A$$

$$R_{total} = \frac{1}{A}\left(\frac{e_{acero}}{k_{acero}} + \frac{e_{cemento}}{k_{cemento}}\right)$$

$$R_{total} = \frac{1}{A}\left(\frac{3 \times 10^{-3} m}{15.6 \frac{W}{m°K}} + \frac{250 \times 10^{-3} m}{0.54 \frac{W}{m°K}}\right)$$

$$R_{total} = \frac{1}{A}\left(192.30 \times 10^{-6}\, {m^2}/{WK} + 462.96 \times 10^{-3}\, {m^2}/{W°K}\right)$$

$$R_{total} = \frac{1}{A}\left(0.4631\, {m^2}/{W°K}\right)$$

$$\dot{Q} = \frac{T_{001} - T_{002}}{R_{total}}$$

$$\dot{Q} = \frac{(650 - 20)°K}{\frac{1}{A}\left(192.30 \times 10^{-6}\, {m^2}/{WK} + 462.96 \times 10^{-3}\, {m^2}/{W°K}\right)}$$

$$\frac{\dot{Q}}{A} = 1360.24\, {W}/{m^2}$$

Donde:

$$A = \pi \times d \times L$$

7. Bibliografía

Agencia para Sustancias Tóxicas el Registro de Enfermedades, A. (1994). ATSDR - Resumen de Salud Pública: Mercurio, 8. Retrieved from www.atsdr.cdc.gov/es

Agenex. (2010). Los residuos ganaderos. *Agenex*, 12–19. Retrieved from https://www.agenex.net/images/stories/deptos/los-residuos-ganaderos.pdf

Ahmad, M., Rajapaksha, A. U., Lim, J. E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., … Ok, Y. S. (2014). Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review. *Chemosphere*, *99*, 19–33. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.10.071

Amonette, J., & Lehmann, J. (2007). Terrestrial Carbon Sequestration with Biochar: A Preliminary Assessment of its Global Potential | Request PDF. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/234489203_Terrestrial_Carbon_Sequestration_with_Biochar_A_Preliminary_Assessment_of_its_Global_Potential

Baguer, B. (2015). *Biochar a partir de cañote de maíz: estudio preliminar del efecto de la presión y temperatura de pirólisis en el rendimiento y la calidad del producto*. *Universidad de Zaragoza*. Universidad Zaragoza. Retrieved from http://zaguan.unizar.es/TAZ/EUCS/2014/14180/TAZ-TFG-2014-408.pdf

Balta, R. (2019). *El carbón activado y el biocarbón en la asimilación del cadmio por el tomate (Solaneum lycopersicum L.) bajo el invernadero*. *Unalam*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Retrieved from http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3874/balta-crisologo-rafael-ananias.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR3c8oGzmaEQPt0vQzd9H9teoHvHU4UHBxsNyQUWBP4_pC1RaJurL8s6vRA

Calvo, L. (2019). *Tratamiento de suelos contaminados por metales mediante combinación de técnicas de fitorremediación con adición de biochar*. Universidad Politecnica de Madrid. Retrieved from http://oa.upm.es/55865/1/MARISA_ALVAREZ_CALVO.pdf

Cano, S. E. (2012). Contaminación con mercurio por la actividad minera. *Biomedica*, *32*(3), 309–312.

Cantor, A., & Catañeda, 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*. Universidad de la Salle. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1745&context=ing_ambiental_sanitaria

Carrillo, G., & Astudillo, A. (2011). Evaluación de las emisiones de vapor mercurial en procesos de amalgamado artesanal: caso Cantón Ponce Enríquez, Provincia del Azuay. *Maskana*, *2*(2), 71–81. https://doi.org/10.18537/mskn.02.02.06

Castro, D. (2018). *Evaluación del proceso de Pirólisis aplicado al material lignocelulósico residual residual proveniente del Pino patula en atmosfera de dioxido de carbono*. *Universidad Libre De Colombia*. Retrieved from https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/11025/TRABAJO DE GRADO FINAL DIANA CATHERINE CASTRO JIMÉNEZ .pdf?sequence=1

Cely, P., Gascó, G., Paz-Ferreiro, J., & Méndez, A. (2015). Agronomic properties of biochars from different manure wastes. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *111*, 173–182. https://doi.org/10.1016/j.jaap.2014.11.014

Clavijo, J. (2013). Caracterización de materiales a través de medidas de microscopía electrónica de barrido (SEM). *Elementos*, *3*(3). https://doi.org/10.15765/e.v3i3.420

Codigo Orgánico del Ambiente, Registro Oficial Suplemento 983 § (2017). Retrieved from http://www.ambiente.gob.ec/wp content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf

Constitución de la Republica del Ecuador. Constitución de la República del Ecuador 2008, Incluye Reformas § (2008). Retrieved from https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf

Contra, L., & Fugas, D. Y. (2001). *Fichas Internacionales de Seguridad Química Fichas Internacionales de Seguridad Química*. Retrieved from https://saludsindanio.org/sites/default/files/documents-files/1406/ficha-seguridad-quimica-mercurio.pdf

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*, 1–236.

Ecua2013. (2010). RESEÑA HISTÓRICA DEL CANTÓN PORTOVELO.

Eric Toensmeier. (2019). Produccion de Biochar.

Español Cano, S. (2012). Mercury contamination due to mining activities. *Biomédica*, *32*(3), 309. https://doi.org/10.7705/biomedica.v32i3.1437

Española, R. (2014). Enmiendas órganicas de nueva generación: biochar y otras biomoléculas. *Journal of Chemical Information and Modeling*, *53*(9), 70–120. https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004

FAO. (2018). EL IMPACTO DE LA GANADERIA EN EL MEDIO AMBIENTE,LA SALUD HUMANA Y EL BIENESTAR ANIMAL.

Garzón-Gutiérrez, J. M., & Rodríguez-Miranda, J. P. (2015). Gestión ambiental de aguas residuales industriales con mercurio proveniente de la minería aurífera a nivel mundial: Estado del arte. *Universidad y Salud*, *17*(1), 132–144. Retrieved from https://revistas.udenar.edu.co/index.php/usalud/article/view/2403/pdf_76

Gómez Delgado, M. (1995). El estudio de los residuos: definiciones, tipologías, gestión y tratamiento. *Serie Geográfica*, (5), 21–42.

Henning Steinfeld, Gerber, P., Wassenear, T., Castel, V., Rosales, M., & Han, C. de. (2006). *Livestock's long shadow*. Roma.

Hernández Morales, H. F., & Piñeros Avendaño, E. F. (2017). Evaluación del biochar producido por pirólisis lenta como medio adsorbente de cinc, cobre, cromo y níquel, 1–67. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria

IBI, I. B. I. (2015). Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Biochar That Is Used in Soil. *International Biochar Initiative*, (November), 23. Retrieved from http://www.biochar-international.org/sites/default/files/Guidelines_for_Biochar_That_Is_Used_in_Soil_Final.pdf

INEC. (2008). Estructura Del Sector Agropecuario, Según El Enfoque De Las Características Del Productor Agropecuario Y De Las Unidades De Producción Agropecuaria 2 Directorio Institucional César Oswaldo Zanafria Niquinga Claudio Vinicio Gallardo León Ruth Elena Puyol C, 24.

INEC. (2016). Información Ambiental en Hogares Junio 2016, 1–39. Retrieved from http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Hogares/Hogares_2016/Documento tecnico.pdf

International Institute for Environment and Development. (2002). Minería artesanal y en pequeña escala. *MMSD Abriendo Brecha*, *Capítulo 1*, 431–458. Retrieved from http://pubs.iied.org/pdfs/G00687.pdf

Kearns, J. P., Shimabuku, K. K., Knappe, D. R. U., & Summers, R. S. (2019). High Temperature Co-pyrolysis Thermal Air Activation Enhances Biochar Adsorption of Herbicides from Surface Water. *Environmental Engineering Science*, *36*(6), 710–723. https://doi.org/10.1089/ees.2018.0476

Kuramoto, J. R. (2002). La Minería Artesanal e Informal en el Perú. *La Mineria Artesanal e Informal En El Peru*, *47*(82), 47. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Juana_Kuramoto/publication/267160288_La_Mineria_Artesanal_e_Informal_en_el_Peru/links/57602f4a08ae2b8d20eb3e19.pdf

León, V., & Plaza, A. (2017). Análisis de la gestión de residuos sólidos en el cantón Balzar - Provincia del Guayas. Retrieved from http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/7969/1/T-UCSG-PRE-ECO-ADM-374.pdf

Ley De Mineria. (2018). Ley de Mineria del República del Ecuador, 65. Retrieved from http://www.controlminero.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/08/Ley-de-Minería-21-mayo-2018.pdf

Lima, I. M., Boateng, A. A., & Klasson, K. T. (2010). Physicochemical and adsorptive properties of fast-pyrolysis bio-chars and their steam activated counterparts. *Journal of*

Chemical Technology and Biotechnology, *85*(11), 1515–1521. https://doi.org/10.1002/jctb.2461

MAE. (2014). Ordenamiento Ambiental Integral en la cuenca del río Puyango . *Ministerio Del Ambiente de Ecuador-MAE*, 96.

MAE. (2015). Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente Libro VI, Anexo 6: Norma e Calidad Ambiental para el Manejo y Disposición Final de desechos Sólidos no peligrosos. *Tulsma*, 45. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0057513

MAE, M. del A. (2020). *Línea de base nacional para la Minería Artesanal y en Pequeña Escala de Oro en Ecuador, Conforme la Convención de Minamata sobre Mercurio*. Retrieved from https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/06/NAP-Inventario-de-Mercurio-Ecuador.pdf?fbclid=IwAR24AU6CYv1PGLQfgnUYDynY4yZbYIhA6IhBkEq1DIDVshVXpUZXTUqs4SE

Martínez, A., & Bohórquez, L. (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*. Universidad de La Salle. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1343&context=ing_ambiental_sanitaria

Mateos, E. (2018). *Producción de biochar a partir de material bioestabilizado*. Retrieved from http://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/31220/1/TFG-I-894.pdf

Mazzucchelli, F., & Sánchez, A. (2016). Impacto ambiental de las explotaciones de vacuno lechero. *Axon*, (1), 42–50.

Medioambiente, O. de. (2006). Programa de Residuos Ganaderos de Aragón, 3–94.

Méndez, P., Ramírez, G., César, A., Gutiérrez, R., Alma, D., & García, P. (2008). Plant Contamination and Phytotoxicity Due To Heavy Metals From Soil and Water. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, *10*(1), 19–44.

Moreno, G. R. (2018). Aprovechamiento de residuos forestales en forma de biocarbón como alternativa agroecológica para la producción de madera de calidad de Acacia mangium Willd., 264. Retrieved from http://bdigital.unal.edu.co/71444/7/GiovanniReyesMoreno.2018.pdf

Olmo, M. (2016). Efectos del biochar sobre el suelo , las características de la raíz y la producción vegetal. *Tesis*, 156. Retrieved from www.uco.es/publicaciones%0Ahttps://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/13381/2016000001398.pdf?sequence=1

OMS. (2017). *La minería aurífera artesanal o de pequeña escala y la salud*. Retrieved from https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/259452/9789243510279-spa.pdf;jsessionid=0AB738C7E5DFF6AA574032B5D357AE80?sequence=1

Oviedo-Anchundia, R., Moina-Quimí, E., Naranjo-Morán, J., & Barcos-Arias, M. (2017). Researchs / Investigación. *Revista Bionatura Supports the Sustainable Development Goals*, *2*(4), 437–441. https://doi.org/10.21931/RB/2017.02.04.5

P, J. G., Streinfeld, H., Hernderson, B., & Mottet, A. (2013). *Enfrentando el cambio climático através de la ganadería*. Roma.

Pandey, D., Daverey, A., & Arunachalam, K. (2020). Biochar: Production, properties and emerging role as a support for enzyme immobilization. *Journal of Cleaner Production*, *255*, 120267. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120267

Peña, A. P. M. (2016). *La Minería Artesanal en el Ecuador y su legislación.* UNIVERSIDAD CATOLICA SANTIAGO DE GUAYAQUIL.

PEÑARANDA, L. A. C. (2013). *ESTRUCTURACIÓN DE UN MODELO DE APLICACIÓN DE LA NIIF 6 PARA COMPAÑÍAS DE EXPLORACIÓN Y EVALUACIÓN DE RECURSOS MINERALES EN EL ECUADOR. Faktor-Faktor Yang Berhubungan Dengan Minat Ibu Terhadap Penggunaan Alat Kontrasepsi Implant Di Puskesmas Ome Kota Tidore Kepulauan*.

Pérez Espejo, R. (2008). Testimonio: El Lado Oscuro de la Ganadería. *Problemas Del Desarrollo. Revista Latinoamericana de Economía*, *39*(154), 217–227. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/pdf/prode/v39n154/v39n154a11.pdf

Pérez Tomas, L. V. (2017). *Estudio de la capacidad de adsorción de las arcillas organofílicas en la remoción de nitrofenoles y clorofenoles*. Retrieved from http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/8849/PEREZ_LIZ_VERONICA_ADSORCION_ARCILLAS.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Pinos, J., Garcia, J., Peña, L., Rendon, J., Gonzalez, C., & Tristan, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. Retrieved November 24, 2019, from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000400004

Pirrone, N., Cinnirella, S., Feng, X., Finkelman, R. B., Friedli, H. R., Leaner, J., … Telmer, K. (2010). Global mercury emissions to the atmosphere from anthropogenic and natural sources. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *10*(13), 5951–5964. https://doi.org/10.5194/acp-10-5951-2010

Poulin, J., & Gibb, H. (2008). Mercurio: Evaluación de la carga de morbilidad ambiental a nivel nacional y local. *Organización Mundial de La Salud*, 75. https://doi.org/ISBN 978 92 4 359657 0

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2012). *Guía Práctica: Reducción del uso de mercurio en la minería artesanal y de pequeña escala*. Ginebra. Retrieved from https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/11524/GMNG_SP.pdf?sequence=4&isAllowed=y

Raimann, X., Lorena Rodríguez, O., Chávez, P., & Torrejón, C. (2014). Mercurio en pescados y su importancia en la salud. *Revista Medica de Chile*, *142*(9), 1174–1180. https://doi.org/10.4067/s0034-98872014000900012

Ramón, B. C. (2017). *Análisis de la valorización de los residuos ganderos para pa produccion de biogas*. Universidad de Sevilla. Retrieved from http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/91523/fichero/TFG+RAMÓN+BORRUEL+CABRERA+final+definitivo.pdf

Ramos, H. (2012). *Remoción de Cianuro en relaves auriferos utilizando biochar producido a partir de tallos de Gliricidia sepium.* Universidad de Cartagena. Retrieved from http://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/135/Remoción de cianuro en relaves auríferos.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Reglamento Del Regimen Especial De Pequeña Mineria (2009). Retrieved from https://www.enamiep.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/09/Reglamento-Pequeña-Mineria.pdf

Residuos, M. V. I. I. (2014). Módulo VII : Residuos. Retrieved from http://www.lineaverdemunicipal.com/Guias-buenas-practicas-ambientales/es/c-residuos-reutilizacion-reciclaje.pdf

Rivera, M. O., Reinoso, T. M., Orozco, Á. F., Uvidia, D. V., Castillo, N. T., Zambrano, S. V., … Santiago, M. (2018). Chronological Evolution of Gold Exploitation Process In Ecuador And In The World And Its Effects On The Environment. *Perfiles*, *2*. Retrieved from http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/9389/1/per_n20_v2_07.pdf

Roberto, C., & Aranibar, A. M. (2003). *PEQUEÑA MINERIA Y MINERIA ARTESANAL EN IBEROAMERICA*. Rio de Janeiro.

Rodriguez, M. (2013). Estimacion de las emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas de producción porcina confinada en Colombia y alternativas de mitigación. Retrieved November 23, 2019, from https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10621/PROYECTO GRADO ENERO 2014.pdf?sequence=1

Salazar, M. (1997). Efectos tóxicos del mercurio. *Revista de La Facultad de Medicina*, *45*(3), 139–143.

Sánchez C, J. M., & Enríquez B, S. M. (1996). Impacto ambiental de la pequeña y mediana minería en Chile. *… and Medium Mining in Bolivia, Chile …*, 1–81. Retrieved from http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd27/ambientechile.pdf

Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & de Haan, C. (2009). *La larga sombra del ganado: problemas ambientales y opciones*. *Fao*.

Tejada, C., Villabona, A., & Garces, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Logicas*, *18*, 109–123. Retrieved from https://www.redalyc.org/pdf/3442/344234336010.pdf

Toro, R., Szantó, M., Pacheco, J., Contreras, E., & Gálvez, A. (2016). Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios. *Manuales de La CEPAL*, 209. Retrieved from https://www.cepal.org/es/publicaciones/40407-guia-general-la-gestion-residuos-solidos-domiciliarios

Trujillo, E. (2017). *Produccion y caracterizacion de biochar a partir de residuos organicos avicolas*. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Urien, A. (2013). *Obtención de biocarbones y biocombustibles mediante pirólisis de biomasa residual*. *Tesis De Máster*. Retrieved from http://digital.csic.es/bitstream/10261/80225/1/BIOCARBONES_CENIM_CSIC.pdf

Velásquez, A. (2008). La Gestion de los residuos sólidos urbanos en la ciudad de Hannover : un modelo exitoso. *Anales de Geografía*, *28*(1), 163–177. Retrieved from https://core.ac.uk/download/pdf/38822995.pdf

Wan, J., Liu, L., Ayub, K. S., Zhang, W., Shen, G., Hu, S., & Qian, X. (2020). Characterization and adsorption performance of biochars derived from three key biomass constituents. *Fuel*, *269*(January), 117142. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117142

Wang, B. H., Zhang, X., Zhejiang, A., & Arbestain, M. C. (2015). Biochar for the Remediation of Soils Contaminated with Potentially Toxic Elements, (July), 1–6.

Xiang, W., Zhang, X., Chen, J., Zou, W., He, F., Hu, X., … Gao, B. (2020). Biochar technology in wastewater treatment: A critical review. *Chemosphere*, *252*, 126539. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126539

Zaman, C. Z., Pal, K., Yehye, W. A., Sagadevan, S., Shah, S. T., Adebisi, G. A., … Johan, R. Bin. (2017). Pyrolysis: A Sustainable Way to Generate Energy from Waste. *Pyrolysis*, (July), 1–36. https://doi.org/10.5772/intechopen.69036