UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL

TEMA:

"CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE BIOCARBONOS ELABORADOS TRADICIONALMENTE Y SU POTENCIAL EN LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DEL SUELO"

AUTOR:

KEVIN NORBERTO CHIMBO NARVÁEZ

DIRECTOR DEL PROYECTO:

PEDRO DAMIÁN RÍOS GUAYASAMÍN

PUYO - PASTAZA – ECUADOR

ENERO 2019

DECLARACION DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Quién suscribe, Chimbo Narváez Kevin Norberto portador de la cedula de identidad N° 150094534-8, hago constar que soy el autor del proyecto de investigación con el título "CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE BIOCARBONOS ELABORADOS TRADICIONALMENTE Y SU POTENCIAL EN LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DEL SUELO" el cual constituye una elaboración personal realizada únicamente con la dirección del asesor de dicho trabajo, Ms. Sc. Ríos Guayasamín Pedro en tal sentido, se manifiesta la originalidad de la conceptualización del trabajo, interpretación de datos y la elaboración de conclusiones, dejando establecido que aquellos aportes intelectuales de otros autores se han referenciado debidamente en el texto de dicho trabajo, a la vez cedemos los derechos a la Universidad Estatal Amazónica que pueda realizar publicaciones sobre la misma, así como su almacenamiento tanto en medio físico y electrónico.

En la ciudad de Puyo, a los 4 días del mes de febrero del dos mil diecinueve.

_____

Chimbo Narváez Kevin Norberto

1500945348

_____

Ms. Sc. Ríos Guayasamín Pedro D.

1716132590

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Por medio del presente, Yo, Ríos Guayasamın Pedro Damián, con número de cédula 1716132590 certifico que el egresado Chimbo Narváez Kevin Norberto realizó el Proyecto de Investigación y Desarrollo titulado "CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE BIOCARBONOS ELABORADOS TRADICIONALMENTE Y SU POTENCIAL EN LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DEL SUELO", previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental bajo mi supervisión.

Ms. Sc. Ríos Guayasamín Pedro D.

1716132590

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR EL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El proyecto de investigación y desarrollo, titulado: "CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE BIOCARBONOS ELABORADOS TRADICIONALMENTE Y SU POTENCIAL EN LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DEL SUELO", fue aprobado por los siguientes miembros del tribunal.

Dr. Carlos Bravo
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ms. Sc. Marlon Núñez
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ms. Sc. Yamila Lazo
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a:

A mis padres, quienes con su amor, esfuerzo y perseverancia me han permitido alcanzar un propósito más, cada uno de mis logros y triunfos es por ti mamá. Además, gracias papá por inculcarme cada día al trabajo constante y a la humildad, en cada una de las adversidades nunca me has dejado solo; para mí eso ha sido una oportunidad, debido a que Dios siempre está conmigo.

A mis hermanos por su apoyo incondicional, durante todo este proceso. A toda mi familia debido a que, con sus oraciones, consejos y palabras, me alentaron en todo momento.

Finalmente quiero dedicar este trabajo a todas aquellas personas que colaboraron en la realización de mi tesis.

Luis Chimbo, María Narváez, Cristina Hoyos

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición hizo posible la elaboración de mi tesis.

Mi profundo agradecimiento a todas las autoridades y personal que conforman la Universidad Estatal Amazónica, por confiar en mí, por su predisposición y permitirme realizar todo el proceso investigativo dentro de sus instalaciones.

Finalmente dirijo mis agradecimientos a mis profesores, quienes con su enseñanza facilitaron mi aprendizaje significativo tanto a nivel personal como profesional, gracias a cada una de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Msc. Marco Heredia, Msc. Pedro

RESUMEN

La aplicación del biocarbón ha demostrado recuperar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, además mejora la fertilidad del mismo y el rendimiento en los cultivos**.** El biocarbón se elaboró a partir de los desechos agrícolas y silvícolas más comunes de la Comunidad de Gareno (cacao y pigüe) por medio de pirólisis lenta en hornos de tierra cubiertos (método tradicional) y posteriormente se realizó su caracterización físico-química Los resultados de este proceso, mediante la pirolisis mostraron una temperatura máxima alcanzada de 429.3 ºC en el pigüe y de 413.5ºC en el cacao, respectivamente. Los pesos del biocarbón de la comunidad y del CIPCA para un rango >20mm de largo del tamaño del gránulo, mostraron valores con un peso de 24,84 g para el pigüe 3 y de 24,44 g para el pigüe 2 ambos del CIPCA, mientras que los biocarbonos de la comunidad oscilaron de 24,70g pigue 1 a 21.52g de residuos de cacao. En el volumen fue mayor el biocarbón elaborado en el CIPCA, a diferencia del cacao elaborado en la comunidad. Los gránulos de biocarbón influencian en la capacidad de retención de agua, el incremento de la capacidad de aireación y adsorción de compuestos orgánicos. Del análisis del pH y la Conductividad eléctrica (CE) del biocarbón de cacao elaborado en la comunidad, se obtuvo el valor más alto con un pH de 10,31 y una CE de 2501,67 $\mu S.cm^{-1}$. Se espera que el biocarbón con estos valores ayude a neutralizar la acidez y mejorar las condiciones nutricionales del suelo.

Palabras Clave: Biocarbón, pirólisis, biomasa, condiciones suelo

ABSTRACT

The application of biochar has been shown to recover the physical, chemical and biological properties of the soil, as well as improving soil fertility and yield in crops. Biocarbon was developed from the most common agricultural and silvicultural waste of the Gareno Community (cacao and pigüe) by means of slow pyrolysis in covered earth ovens (traditional method) and subsequently its physical-chemical characterization was carried out. This process, by means of pyrolysis, showed a maximum temperature reached of 429.3ºC in the pigüe and of 413.5ºC in the cocoa, respectively. The weights of the community biochar and the CIPCA for a range> 20 mm long of the granule size, showed values with a weight of 24.84 g for pigüe 3 and 24.44 g for pigüe 2 both of CIPCA, while community biochar's ranged from 24.70g pigue 1 to 21.52g of cocoa residues. In the volume, the biochar produced in the CIPCA was higher, unlike the cocoa produced in the community. The biochar granules influence the water retention capacity, the increase of the aeration capacity and the adsorption of organic compounds. From the analysis of the pH and the electrical conductivity (CE) of the cocoa biochar elaborated in the community, the highest value was obtained with a pH of 10.31 and an EC of 2501.67 µS.cm-1. It is expected that the biochar with these values will help to neutralize the acidity and improve the nutritional conditions of the soil.

Key Words: Biochar, pyrolysis, biomass, soil conditions

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I 1
1.1 INTRODUCCIÓN 1
1.2 JUSTIFICACIÓN 2
1.3. PROBLEMA 3
1.4. HIPÓTESIS 3
1.5. OBJETIVOS 4
1.5.1 OBJETIVO GENERAL 4
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 4
CAPÍTULO II 5
2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA 5
2.1 DEFINICIÓN Y ORIGEN DEL BIOCARBÓN 5
2.2 CARACTERÍSTICAS DEL BIOCARBÓN 5
2.3 GRANULOMETRÍA DE BIOCARBÓN 7
CAPÍTULO III 8
3. MATERIALES Y METODOLOGÍA 8
3.1 LOCALIZACIÓN 8
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN 8
3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN 9
3.4 MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS 9
3.4.1 MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DEL BIOCARBÓN 9
3.4.2 MATERIALES DE CAMPO 9
3.4.4 EQUIPOS DE LABORATORIO 9
3.5 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN 10
3.5.1 CAMPO 10
3.5.1.1 ENCUESTA 10
3.5.1.2 PRODUCCIÓN DE BIOCARBÓN 10
3.5.2 LABORATORIO 11
3.5.2.1 HUMEDAD 11
3.5.2.2 GRANULOMETRÍA DE BIOCARBÓN 11
3.5.2.3 POTENCIAL HIDRÓGENO (pH) 11
3.5.2.4 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE) 11
CAPÍTULO IV 12
4.RESULTADO Y DISCUSIONES 12

4.1 CAMPO 12
4.1.1 ENCUESTA 12
4.1.2 TEMPERATURA 20
4.2 LABORATORIO 20
4.2.1 HUMEDAD 20
4.2.2 GRANULOMETRÍA 22
4.2.2.1 PESOS DE BIOCARBÓN 22
4.2.2.2 VOLUMEN DE BIOCARBÓN 24
4.5 POTENCIAL HIDRÓGENO (pH) 26
4.6 CONDUCTIVIDAD ELÈCTRICA (CE) 28
CAPÍTULO V 30
5.1 CONCLUSIONES 30
5.2 RECOMENDACIÓN 31
CAPÍTULO VI 32
6.1 BIBLIOGRAFÍA 32
CAPÍTULO VII 36
7.1 ANEXO FOTOFRAFÍAS 36
7.2 ANEXO 22 ENCUESTA 39

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1.- Impacto del biocarbón sobre el ciclo de C..... 6

Gráfico 2.- Principales efectos del biochar sobre las características del suelo. 7

Gráfico 3.- Ubicación geográfica de la comunidad Gareno..... 8

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Nacionalidad de la comunidad Gareno 12
Figura 2. Sexo de la comunidad Gareno 12
Figura 3. Edad de las familias encuestadas 13
Figura 4. Nivel de estudio de las personas encuestadas 13
Figura 5. Empleo realizado por las personas encuestadas 14
Figura 6. Encuesta pregunta 1 14
Figura 7. Encuesta pregunta 2 15
Figura 8. Encuesta pregunta 3 15
Figura 9. Encuesta pregunta 4 15
Figura 10. Encuesta pregunta 5 16
Figura 11. Encuesta pregunta 6 16
Figura 12. Encuesta pregunta 7 16
Figura 13. Encuesta pregunta 8 17
Figura 14. Encuesta pregunta 9 17
Figura 15. Encuesta pregunta 10 18
Figura 16. Encuesta pregunta 11 18
Figura 17. Encuesta pregunta 12 19
Figura 18: Valor de la humedad de distintas masas de biocarbón. 21
Figura 19. Peso en gramos de diferentes tipos de biocarbón. 23
Figura 20. Volumen en cm^3 de diferentes tipos de biocarbón 24
Figura 21. Valores de pH en concentración de (1:10; 1:20) 26
F*igura 22.* Valores de CE en concentración de (1:10; 1:20) 28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores de la temperatura en la elaboración de biocarbón. 20
Tabla 2. Humedad de diferentes muestras de biocarbón..... 21
Tabla 3. Peso en gramos de diferentes tipos de biocarbón 23
Tabla 4. Volumen en cm^3 de diferentes tipos de biocarbón..... 25
Tabla 5.Concentración de PH de (1:10;1:20)..... 27
Tabla 6. Concentraciones de Conductividad Eléctrica de (1:10;1:20)..... 29

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

La implementación de biocarbón en el suelo es una técnica innovadora sostenible para evitar y reducir aspectos en referencia a la contaminación y emisiones gaseosas, con el fin de mitigar el cambio climático, recuperar la fertilidad del suelo y mejorar el rendimiento en los cultivos, además existen reportes que indican que el biocarbón puede retener temporalmente nitrógeno soluble en su estructura y liberarlo más lentamente, incrementando así la eficiencia de este elemento y la productividad de los cultivos (Zhang, 2014).

El biocarbón tiene la capacidad potencial de mejorar las propiedades físico-químicas del suelo, es un acondicionador beneficioso para el suelo y un vehículo potencial para el secuestro de carbono (Ippolito *et al*., 2011). Los suelos son fundamentales para la subsistencia de la vida en la tierra porque aportan a la seguridad alimentaria, regulan los ciclos hidrológicos y la calidad ambiental (Villalta y Ortega, 2018). Los suelos sanos son fundamentes para el sistema alimentario, los suelos son la base de la agricultura y es el medio donde crecen casi todos los cultivos destinadas a la producción de alimentos. Por tanto, la calidad de los suelos está directamente relacionada con la calidad y la cantidad de alimentos (FAO, 2015; Valdez *et al*., 2015).Una de las principales amenazas de la degradación de los suelos: el proceso inducido por la mano del ser humano que está disminuyendo la capacidad actual y /o futura del suelo para sostener en sí, la vida humana (De Murcia e*t al*., 2011).

La degradación del suelo contribuye al incremento de los gases de efecto invernadero (emisiones NO_2, CH_4 y CO_2), al aumento debido al uso de los combustible fósiles lo que conlleva a acelerar el calentamiento global y alteración del clima agrícola (Posse *et al.*, 2014). La sociedad actual con la agricultura y sus actividades asociadas enfrenta: pérdida de fertilidad, salinización, erosión y compactación del suelo por el movimiento constante, así, disminuyendo la capacidad productiva y el rendimiento del suelo (Avedaño, 2017; Herrera, 2016).

Existen muchas técnicas para contrarrestar la degradación del suelo y para poder recuperar la fertilidad y el secuestro de carbono, la adición o empleo de biocarbón puede contribuir a mejorar las propiedades físicas y químicas y biológicas del suelo (Escalante *et al*., 2016).

1.2 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad la amazonia ecuatoriana enfrenta la degradación de los suelos causado por el mal manejo y la baja fertilidad natural del mismo, éstos han provocado: aumento en la erosión y pérdida de la fertilidad del suelo, la cual afecta la disponibilidad de los nutrientes y limita su uso. Disminuyendo así, la capacidad productiva y el rendimiento agrícola de los productores (Herrera, 2016). Frente a esta problemática, provocada por las malas prácticas agrícolas, el biocarbón obtenido a partir de la quema de biomasa de los desechos agrícolas y silvícolas, aplicado al suelo, permitirá el mejoramiento de las características físicas y químicas del mismo, con lo que se ayudará a disminuir el impacto negativo y restaurar ecológicamente los suelos.

1.3. PROBLEMA

En muchos casos, los agricultores generan desechos agrícolas y silvícolas; y a medida que aumenta el volumen de los residuos, no encuentran alternativas para el manejo adecuado de los mismos, prefiriendo deshacerse de ellos, ya sea arrojándolos al ambiente o quemándolos. De esta manera surgió la necesidad de generar un aprovechamiento alternativo de estos desechos, que involucre tecnologías limpias, siendo el uso del biocarbón elaborado tradicionalmente la más apropiada debido a que es una técnica alternativa en la recuperación de los ecosistemas que han sido degradados, dañados o destruidos.

1.4. HIPÓTESIS

La elaboración de biocarbón con las técnicas tradicionales permitirá el uso más eficiente de los residuos agrícolas y silvícolas, minimizando los problemas ambientales y mejorando el funcionamiento del suelo.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Caracterizar los parámetros físico-químicos del biocarbón elaborado tradicionalmente para restauración ecológica del suelo.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las fuentes de biomasa agrícola y forestal en la comunidad Gareno.
- Elaborar biocarbón a partir de las fuentes principales de biomasa en la comunidad.
- Determinar las características físicas y químicas de biocarbón, elaborados a base de las principales biomasas de la comunidad, comparándolas con las elaboradas en el CIPCA.

CAPÍTULO II

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 DEFINICIÓN Y ORIGEN DEL BIOCARBÓN

En la actualidad la necesidad de implementar, desarrollar las energías renovables y reducir emisiones de CO2 para la lucha contra el cambio climático ha impulsado al aprovechamiento de la biomasa, fuente caracterizada por su abundancia, su poder energético y su versatilidad. El aprovechamiento de la biomasa residual es procedente de la madera, manutención de bosques, zonas verdes y zonas agrícola (Graber *et al*., 2010; Lui Xu, 2015). El biocarbón es un producto rico en carbono obtenido de la descomposición térmica de distintos tipos de biomasa bajo un aporte de oxígeno limitado. Esta definición resulta ser útil para el carbón vegetal, ya que es rico en carbono y es utilizado como fuente de energía, a diferencia del carbón el biochar, que es destinado en término de materia orgánica empleada para mejorar las propiedades del suelo (Avedaño, 2017; Lui Xu, 2015).

El estudio del biocarbón es relativamente reciente, en los últimos años el interés de aplicar en los suelos agrícolas se ha dado debido al descubrimiento de las "Terras pretas do indio". Conocidas como tierras oscuras de la amazonia, estos suelos son ricos en C y muy fértiles, lo que representa una anomalía respecto a los suelos de la selva amazónica que suelen ser muy podres en nutrientes (Lehmann y Joseph, 2015).

2.2 CARACTERÍSTICAS DEL BIOCARBÓN

El biocarbón posee un contenido elevado de Carbono recalcitrante, en su mayor parte condensado en anillos aromáticos. También cabe destacar la presencia de nutrientes asociados a su fracción mineral (K, Ca, Mg, P, S, etc.) (Prieto, 2016). La mayoría de los biocarbón son alcalinos (pH > 7) y dependiendo de la dosis aplicada al suelo, pueden ejercer un efecto de encalado sobre el mismo. En general, los biocarbonos son materiales porosos, poco densos y caracterizados por una elevada área superficial específica (Lehmann & Joseph, 2015). El biocarbón tiene la capacidad potencial de mejorar las propiedades físico-químicas del suelo y aumentar la productividad de los cultivos, además contribuye al secuestro de Carbono (Jeffery et al., 2011; Olmo, 2016). El potencial del biocarbón como sumidero de C se debe a su naturaleza

recalcitrante, lo que ralentiza la velocidad a la que se degrada en el suelo y por tanto la velocidad a la que el C se emite a la atmósfera. El impacto del biocarbón sobre el ciclo del carbono se encuentra resumida en la (Gráfico 1), donde abarca desde la producción de biocarbón a partir de restos vegetales hasta su fijación en el suelo (Prieto, 2016).

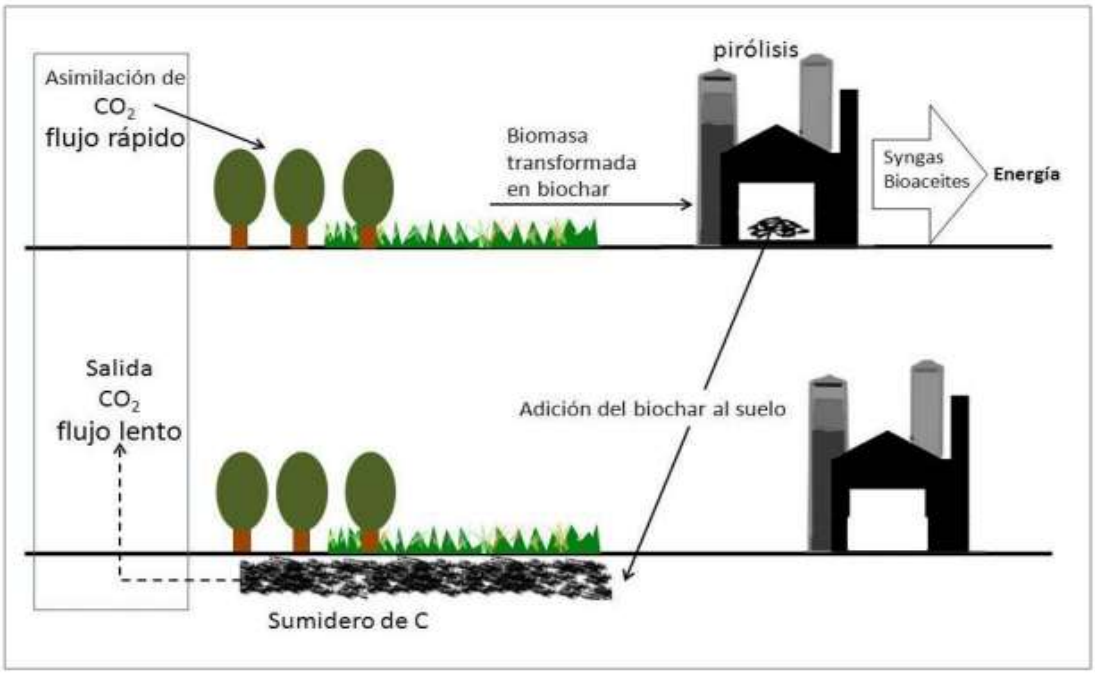


Gráfico 1.- Impacto del biocarbón sobre el ciclo de C.

En el grafico 1, se muestra el aprovechamiento de distintos tipos de biomasas para la elaboración del biocarbón y su adición en el suelo mejora las propiedades físicas y químicas del suelo. Las propiedades del biocarbón (área superficial y nano-porosidad) se pueden relacionar de manera directa e indirecta con la forma que afectan el suelo. El biocarbón al ser adicionado al suelo afecta de manera positiva la respuesta del suelo al agua, su agregación, manejabilidad y capacidad de retener cationes, entre otros (Nates, 2014; Zhang, 2014). El biocarbón se cataloga como un producto interesante en las enmiendas de suelos (Gráfico 2), debido a que mejora las características del suelo donde se adiciona.(Ahmad *et al*., 2014). Estos cambios incluyen la reducción de su densidad aparente, el aumento de su capacidad de retención de agua y la mejora de su estructura (Baronti *et al*., 2014; Prieto, 2016). Estas mejoras incluyen un aumento de la porosidad del suelo que puede mejorar su capacidad de infiltración y permeabilidad (Ulyett *et al*, 2014). El color oscuro que el biochar le confiere al suelo puede favorecer la absorción de las radiaciones solares y reducir el albedo, aumentando su temperatura. Pero

este aumento podría reducir la humedad, aunque este efecto parece estar compensado por la alta capacidad de retención de agua del biocarbón (Prieto, 2016).

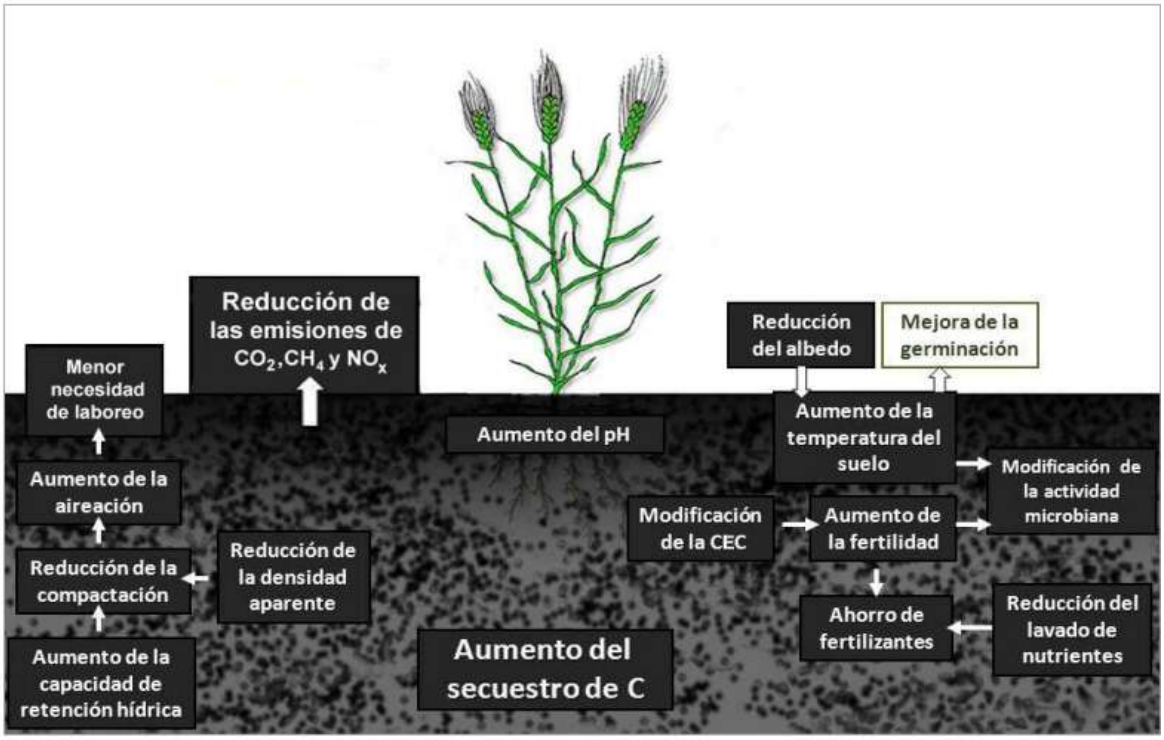


Gráfico 2.- Principales efectos del biocarbón sobre las características del suelo.

2.3 GRANULOMETRÍA DE BIOCARBÓN

Las partículas son ricas en carbono, que ayudan a mejorar las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, secuestrando el carbono (Flaviano *et al*., 2015). La naturaleza particulada y la porosidad del biocarbón, además de la estructura química, influyen directamente en la productividad de los cultivos. Su aplicación en el suelo cambia la textura, la estructura, la porosidad y la densidad del suelo; influye en la aireación, retención, disponibilidad de agua y nutrientes, crecimiento de plantas y facilidad de preparación del suelo. Además de la reducción en la acidez del suelo aumentando la retención de los nutrientes principalmente en el potasio (Miranda *et al*., 2015).

Por todo lo expresado anteriormente se plantea realizar en esta investigación una encuesta para caracterizar los desechos silvícolas y agrícolas de la comunidad Gareno, su utilización y potencial para generar con ellos nuevos productos como el biocarbón y un análisis en laboratorio del mismo a fin de poder explicar las propiedades que podrán ser beneficiosas al suelo de la comunidad.

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y METODOLOGÍA

3.1 LOCALIZACIÓN

El presente proyecto de investigación se realizó en la provincia de Napo, cantón Tena, en la comunidad de Gareno perteneciente a la parroquia de Chontapunta. Sus límites; al norte con la parroquia San José Dahuano y Puerto Murialdo del cantón Loreto, al sur la parroquia Belleza e Inés Arango del cantón Orellana, al oeste la parroquia Curaray del cantón Arajuno, al este la parroquia Ahuano del cantón Tena se presenta en la siguiente Gráfico 3 (Chango y Morales, 2017).

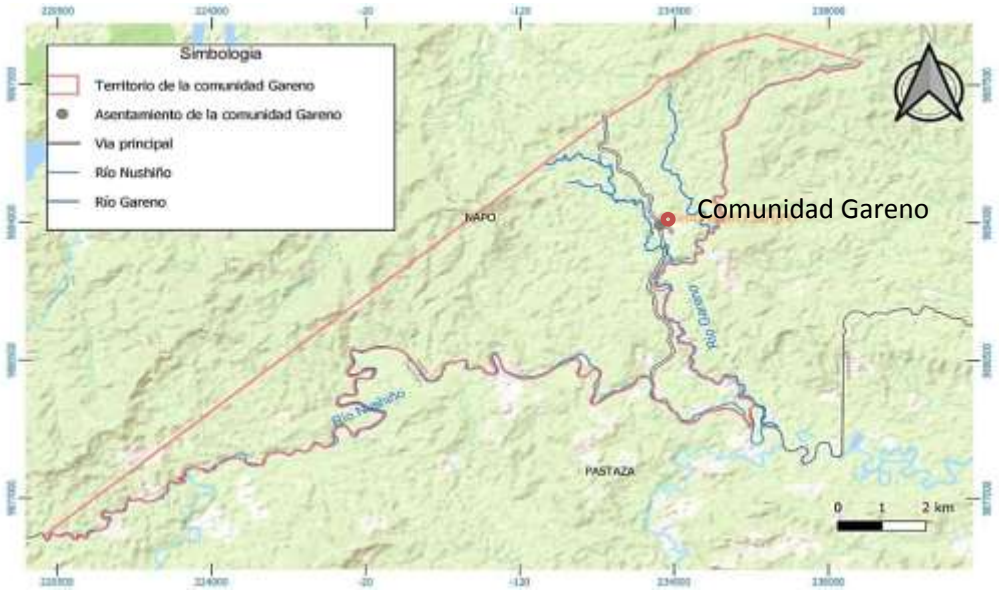


Gráfico 3.- Ubicación geográfica de la comunidad Gareno.

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El proyecto se orientó hacia tres tipos de investigación:

- ✓ Exploratoria: Se basó en la revisión de literatura y tomó como referencia el análisis de los mismos parámetros que se estudiaron.
- ✓ Descriptiva: En esta investigación se describió los parámetros del biocarbón.
- ✓ Experimental: Se analizaron los parámetros físicos y químicos del biocarbón en el laboratorio.

3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

Cuenta con los siguientes métodos:

- ✓ Método cualitativo: Se basó en la aplicación de encuetas
- ✓ Método analítico: Se realizó análisis de la temperatura, la humedad, la granulometría, el pH y la conductividad eléctrica de varios tipos de biocarbón.
- ✓ Método comparativo: Se analizaron los resultados de biocarbón obtenido en el CIPCA y en la comunidad Gareno, sitio en el que se realizó la encuesta para la caracterización del uso de residuos orgánicos silvícolas y agropecuarios en la potencial elaboración de biocarbón.

3.4 MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS

3.4.1 MATERIALES PARA LA ELABORACIÓN DEL BIOCARBÓN

- Termómetro a láser
- Pala
- Machete
- Agua
- Fósforo
- Lápiz
- Cuaderno
- Restos orgánicos

3.4.2 MATERIALES DE CAMPO

- 1 Espátula
- 1 Pala
- 1 Machete
- 1 Termómetro a láser
- 2 Paquetes de fundas
- 5 Lonas
- 1 Libreta de campo
- Restos orgánicos

3.4.4 EQUIPOS DE LABORATORIO

- Mallas metálicas
- Estufa
- Balanza analítica
- Conductímetro
- pH-metro
- Agitador
- Vasos de precipitación
- Tubos de ensayo
- Agitador orbital

3.5 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.5.1 CAMPO

3.5.1.1 ENCUESTA

En la aplicación de las encuestas consideraron aspectos generales de la población, además de profundizar en los tipos de cultivo existentes en la misma y la utilidad que los desechos (**Anexo 22**). Se realizó una encuesta por cada familia en la comunidad Gareno (Waorani), en un total de 30, con las que se pudo determinar los tipos de desechos agrícolas y silvícolas que genera los mismos que posteriormente se utilizaron para la obtención del biocarbón.

3.5.1.2 PRODUCCIÓN DE BIOCARBÓN

Se utilizó la masa de los desechos agrícolas y silvícolas de la comunidad Gareno como materia prima para la elaboración de biocarbón (**Anexo 1**). La transformación de biomasa fue a partir de la madera a carbón mediante la descomposición térmica (pirólisis lento) en hornos de tierra con limitado suministro de oxígeno o en ausencia de oxígeno (Pinedo, 2013). Se colocaron 200 kilogramos de cada biomasa en hornos de tierra para la descomposición térmica.

Para la elaboración de carbón se siguieron los siguientes pasos

- Obtención de biomasa de madera de los residuos agrícolas y silvícolas.
- Se preparó una posa en la tierra de $1m^2$ de ancho y 0.90 m^2 de profundidad, en la que se colocó palos de madera hasta llenarlo (**Anexo 3**) y se encendió el material
- Se cubrió el horno de tierra con hierbas secas y tierra, durante tres días (**Anexo 4**).
- Para que ocurra el proceso de pirólisis, es decir la conversión térmica lenta, cabe mencionar que se tomó siempre los datos de temperatura en 30min, 1h, 2h, 3h,4h, 5 h y luego cada 6h, desde que inicia hasta que termina el proceso de pirólisis.
- Se procedió a sacar el carbón de la poza, para luego lavarlo con agua.
- Finalmente, el biocarbón obtenido se secó al ambiente durante 2 a 3 días **y** luego se pesó el total de biocarbón para posteriormente tomar muestras representativas a ser analizadas en el laboratorio de Suelos de la UEA (**Anexo 5**).

3.5.2 LABORATORIO

3.5.2.1 HUMEDAD

Se utilizó la estufa de secado a 105ºC x 24 horas para aislar la humedad de las diferentes muestras del biocarbón. Se pesó cada una de las muestras antes y después, hasta que el biocarbón presentó un peso constante (Miranda *et al*., 2015).

Humedad = ((masa inicial – masa final después de 105 ºC) / masa inicial) *100

3.5.2.2 GRANULOMETRÍA DE BIOCARBÓN

Para el tamaño de las partículas de biocarbón se utilizaron mallas metálicas que poseen aberturas aproximadamente de 1 mm (para medir lo que caiga como material menor de <1 mm), de 3 mm (para medir lo que caiga como material menor de ≤3 ≥ 1 mm), las categorías más grandes se midieron y pesaron ubicándolas en clases: ≥3 mm ≤10 mm, ≥10 ≤ 20 mm, y > 20 mm (**Anexo 21**).

3.5.2.3 POTENCIAL HIDRÓGENO (pH)

La determinación del pH, se realizó con un ensayo con 5 gramos de biocarbón previamente molido en 50 y 100 mL de agua destilada o desmineralizada (**Anexo 12**). Con la ayuda de un agitador orbital se mezcló por 5 minutos, para luego dejar reposar por 30 minutos (Singh *et al*., 2017). Se procedió a calibrar el equipo para el análisis y se colocó el pHmetro en cada muestra; siendo necesario limpiar el pHmetro con agua destilada para la lectura y la medición del pH de cada una de las muestras.

3.5.2.4 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (CE)

La determinación de la CE se realizó mediante un ensayo con 5 gramos de biocarbón en 50 y 100 mL de agua destilada o desmineralizada (**Anexo 12**), con un agitador orbital por 5 minutos se mezcló las muestras, dejándolas reposar por 30 minutos (Singh *et al*., 2017). En cuanto al análisis de cada muestra, se calibró y limpió el conductímetro con agua destilada para finalmente proceder a la medición de la CE, anotando los valores con sus respectivas unidades.

CAPÍTULO IV

4.RESULTADO Y DISCUSIONES

4.1 CAMPO

4.1.1 ENCUESTA

La encuesta incluyó a las personas mayores de 18 años de edad, se entrevistaron 30 familias (representados por su jefe de hogar) en referencia a lo que hacían con los residuos agrícolas y silvícolas en la comunidad.



El 83 % de las familias encuestadas en la comunidad de Gareno son pertenecientes a la nacionalidad Waorani, mientras que el 10 % pertenecen a la nacionalidad Kichwa y el 7 % son mestizos, que han llegado a habitar contrayendo matrimonio con las mujeres Waoranis.

Figura 1. Nacionalidad de la comunidad Gareno.

De las encuestas realizadas, el 63 % corresponden al sexo masculino y el 37 % restante al sexo femenino, en el momento de la entrevista en la mayoría se encontró al responsable del hogar y en ciertas casas, solo se pudo encontrar a las mujeres porque el hombre salió a realizar diferentes actividades relacionadas al trabajo.

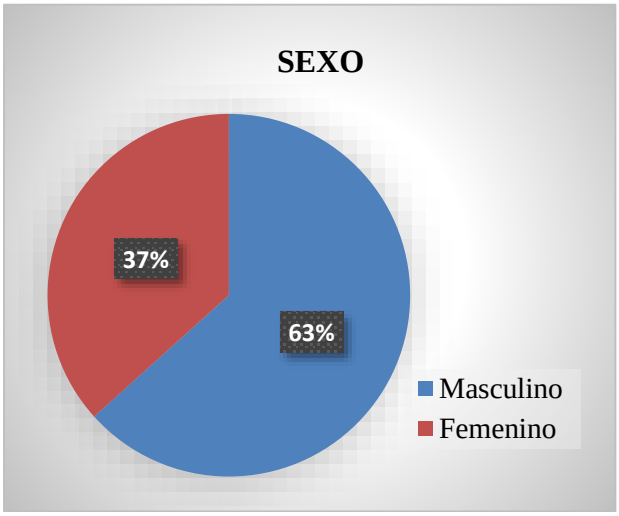
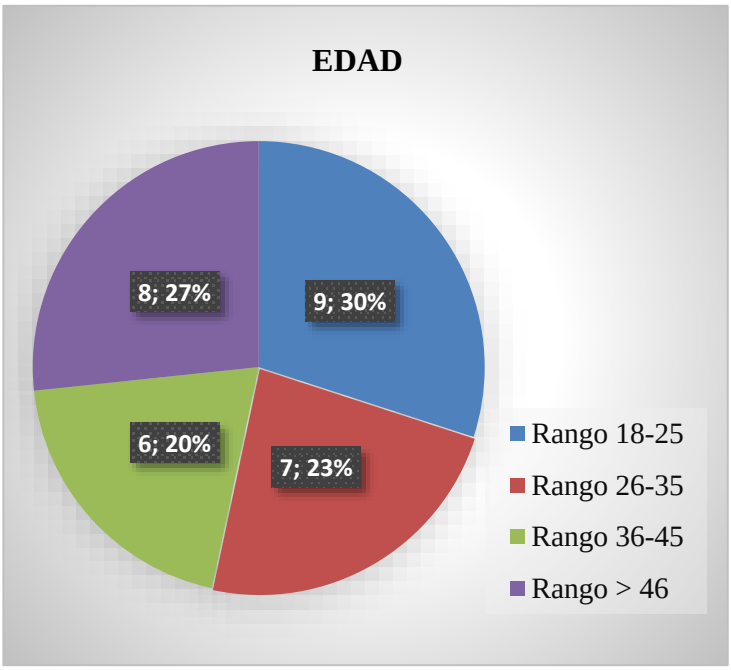


Figura 2. Sexo de la comunidad Gareno



En relación a la edad de las personas encuestadas, se aprecia que el 30 % se ubican entre 18 – 25 años. En segundo lugar, con un 27 % pertenece a las edades mayores de 46 años en adelante. En tercer y cuarto lugar, encontramos, un grupo de personas que comprenden sus edades entre 26 – 36 años que representa el 23 % mientras que las edades de 36 – 45 años son el 20% de la población encuestada.

Figura 3. Edad de las familias encuestadas

De las familias encuestadas que habitan en la comunidad de Gareno, un 37 % de las personas han terminado el bachillerato y otros aún están estudiando en el colegio. El 33% de las personas no cuentan con un estudio. Además, se observa que el 27 % de los encuestados han culminado la escuela y el 3 % tiene preparación universitaria.



Figura 4. Nivel de estudio de las personas encuestadas

En relación con el empleo de las familias encuestadas, el 73% son campesinos que se dedican a la agricultura en sus pequeñas chakras y un 20 % son jóvenes estudiantes que también trabajan en el campo. A su vez, se aprecia que el 4 % de las personas se consideran desempleados porque ellos trabajan tiempos parciales en la compañía petrolera y el 3 % de la población es comerciante.

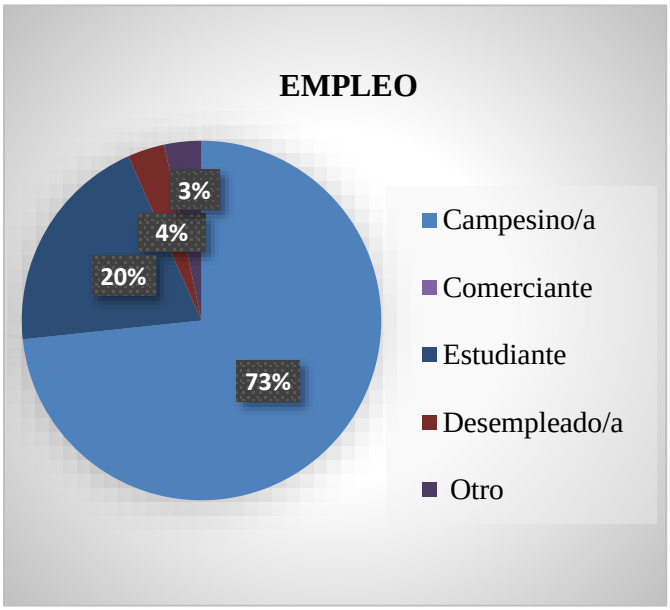


Figura 5. Empleo realizado por las personas encuestadas

La actividad económica sobresaliente de las familias encuestadas, en un 87 % se dedican a la agricultura y la economía depende de los productos que venden en el mercado. También, el 7 % de las familias trabajan en actividades de servicios agrícolas y forestales. De igual modo, se ubica con un 3 % del grupo encuestado, las actividades forestales en sí y otras actividades relacionadas con la caza, pesca y artesanías.

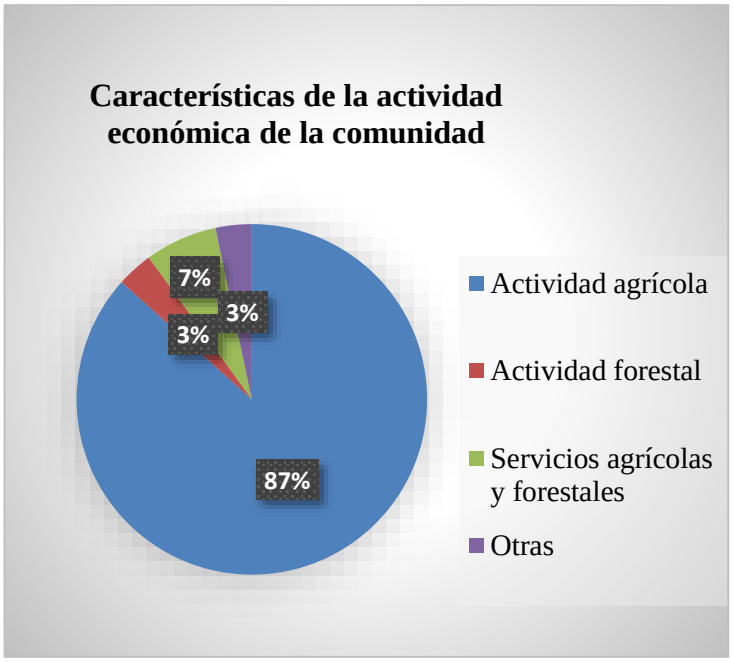
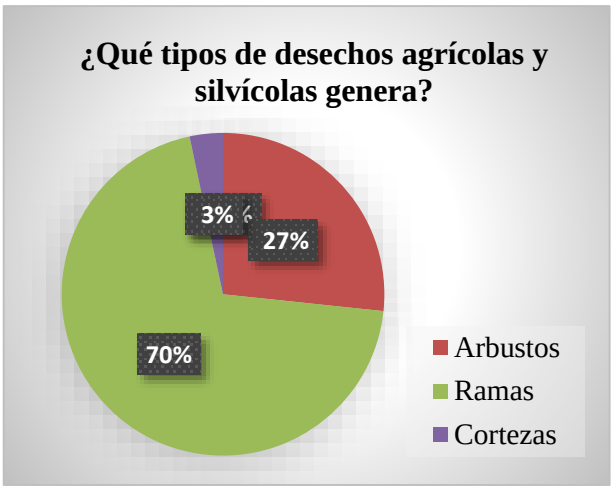


Figura 6. Encuesta pregunta 1



Los desechos agrícolas y silvícolas que generan las familias encuestadas en la comunidad son: el 70 % ramas, el 27 % arbustos y el 3 % corteza de los arbustos que son cortados y desechados.

Figura 7. Encuesta pregunta 2

Los desechos generados en la siembra por las familias encuestadas en la comunidad son: el 80 % ramas, el 13 % arbustos y el 7 % la corteza de los arbustos que son cortados y desechados, al momento de remontar el bosque para sembrar los productos.

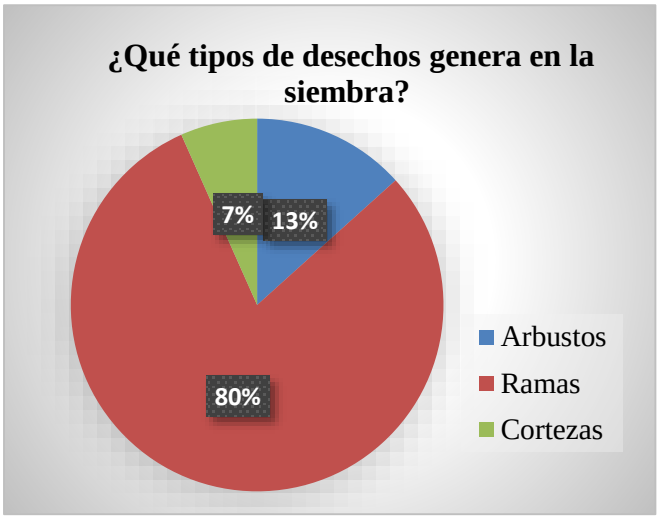
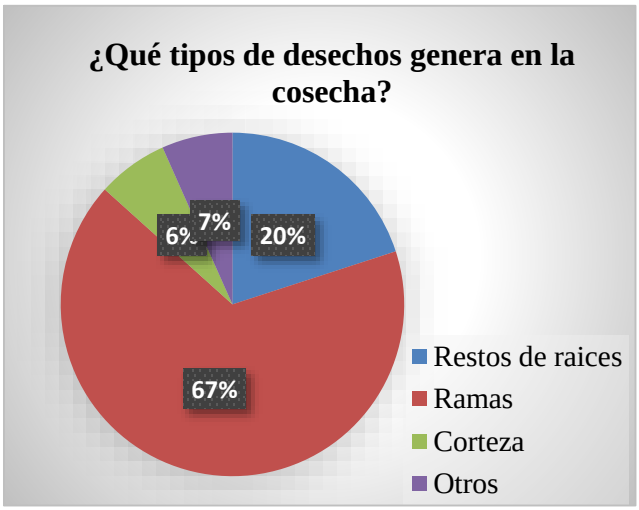
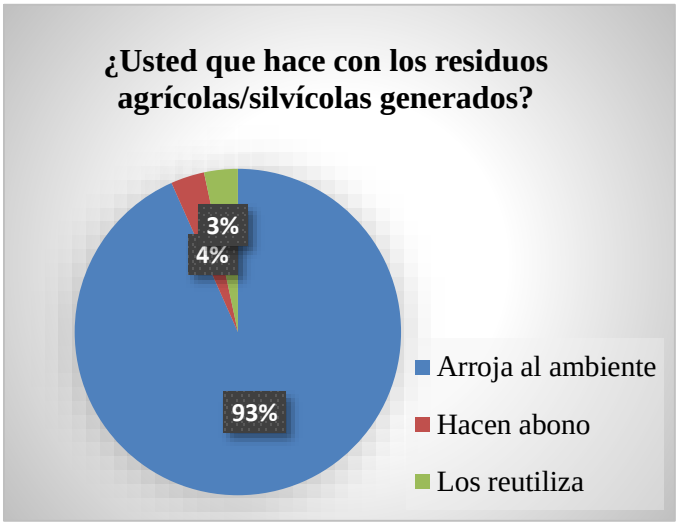


Figura 8. Encuesta pregunta 3



Los desechos generados en la cosecha por las familias encuestadas en la comunidad son: el 67 % ramas, el 20 % restos de raíces, el 7 % de otros como: cáscara de yuca o de cacao y el 6 % son corteza muertas de los arbustos cortados, al momento de cosechar los productos.

Figura 9. Encuesta pregunta 4



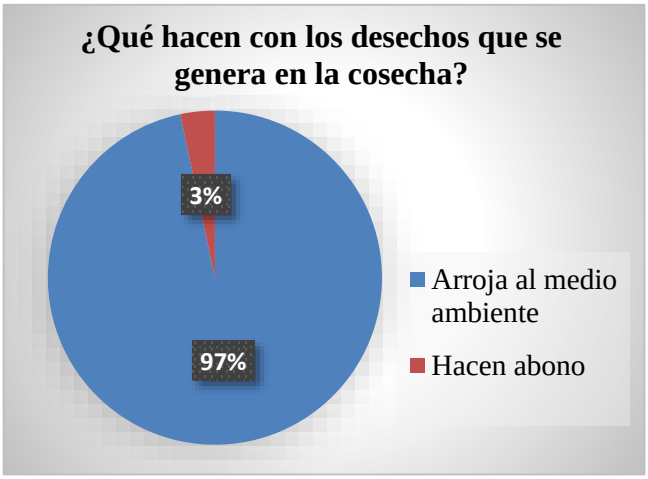
El 93 % de los desechos agrícolas y silvícolas generados por las familias encuestadas, arrojan al ambiente y dejan que se descompongan, el 4 % realizan un abono con las cáscaras de plátano, yuca y de cacao. De igual modo, el 3 % los reutiliza para sembrarlos tal es el caso de la estaca de yuca.

Figura 10. Encuesta pregunta 5

En relación a los desechos generados en la siembra, el 90 % de las familias encuestadas arrojan al ambiente para su respectiva descomposición, el 7 % hacen un aprovechamiento adecuado de los desechos utilizándolos a manera de abono y el 3 % restante queman los desechos, por cuestión de espacio necesario al momento de cosechar los productos.



Figura 11. Encuesta pregunta 6



Los desechos generados en la cosecha son: el 97 % son arrojados al ambiente para su descomposición y pocas familias realizan abono orgánico en sus chakras, las mismas que representa el 3 % de los encuestados.

Figura 12. Encuesta pregunta 7

El aprovechamiento dado por las familias encuestadas para los desechos agrícolas y silvícolas generados es: el 44% utilizan para los sembríos como las estacas de yuca, un 33 % de las familias utilizan como estaca o cerca, alrededor de las chakras utilizando las ramas y los troncos de los arbustos. En cuanto al 23 % de la población emplea las ramas y troncos de los arbustos a modo de leña para fogatas.

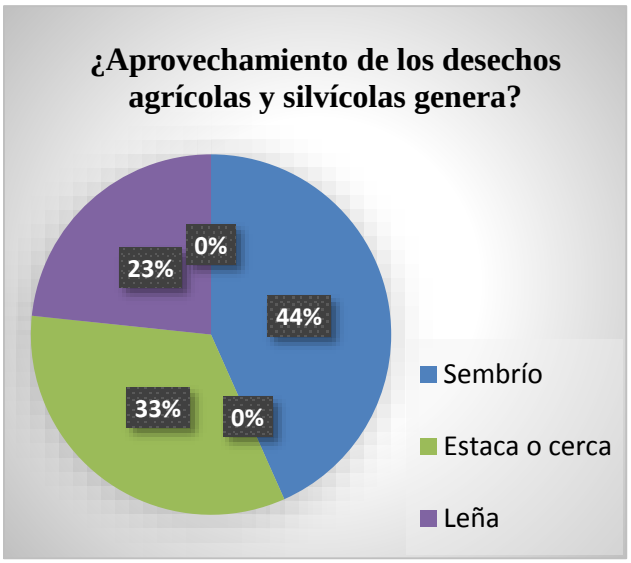


Figura 13. Encuesta pregunta 8

Los desechos de madera generados en las actividades agrícolas y silvícolas son: el 77 % de pigue, el 13 % de ceibo, el 7 % de laurel y el 3 % es de guayacán. La mayoría de los desechos de madera son arbustos mientras que los árboles son utilizados para la construcción de casas.



Figura 14. Encuesta pregunta 9

Del aprovechamiento de los desechos de madera en las actividades agrícolas y silvícolas: el 37 % de las familias encuestadas aprovechan para la construcción de la casa, el 30 % dejan que se pudra o descomponga en el ambiente, el 20 % recolectan la leña de los arbustos para el fuego y el 13 % de las familias quemas los desechos agrícolas y silvícolas por costumbre o para que no moleste al momento de cosechar los

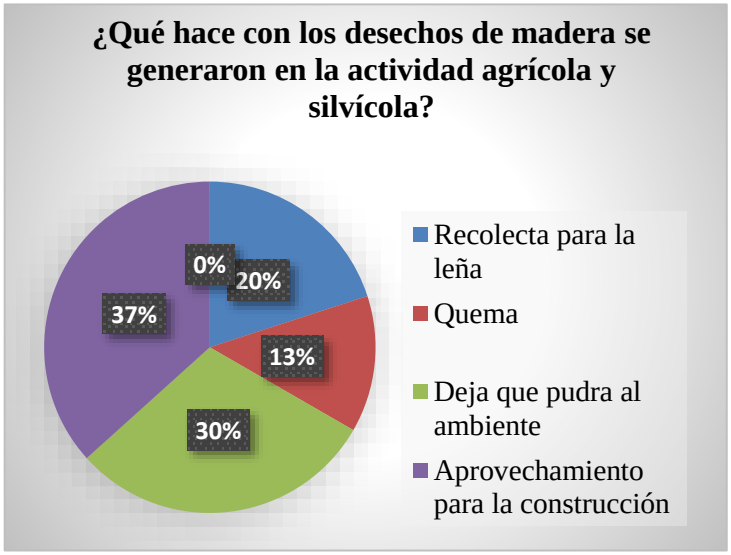


Figura 15. Encuesta pregunta 10

El 87 % de las familias encuestadas en la comunidad no obtienen ceniza ni carbón de los desechos de madera, generados en la actividad agrícola y silvícola a diferencia de lo que sucede con el 13 % de las familias que aprovechan las cenizas quemadas para poner en la tierra antes de sembrar los cultivos.

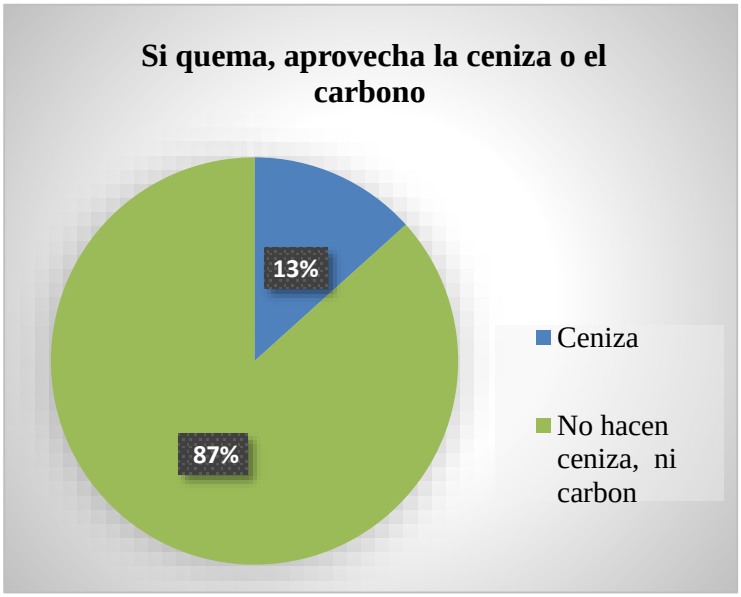


Figura 16. Encuesta pregunta 11

El aprovechamiento de los restos quemados es: el 87 % de las familias encuestadas no aplican la ceniza en los cultivos; el 10 % aplica la ceniza en los cultivos cercanos mientras que el 3 % aplica la ceniza en cultivos lejanos a su domicilio.

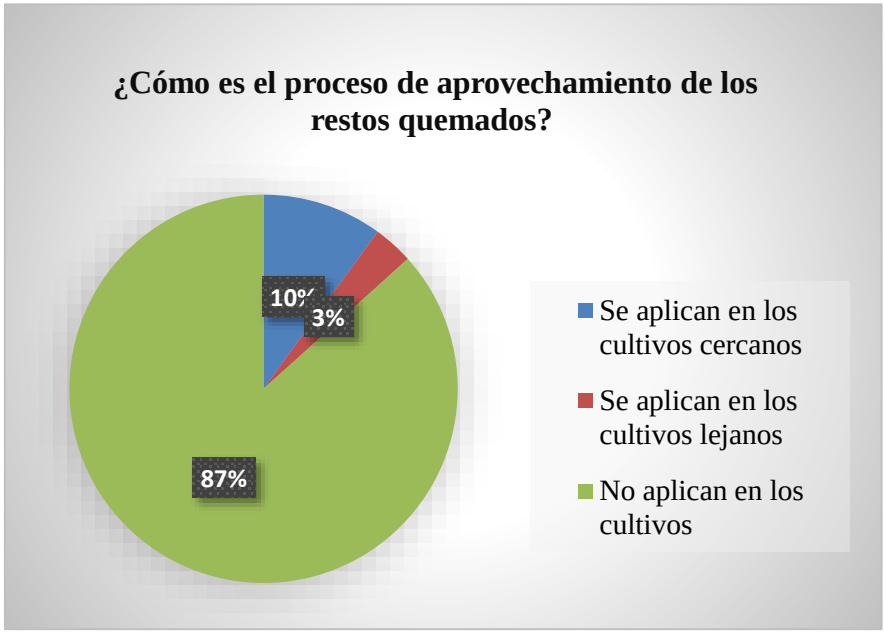


Figura 17. Encuesta pregunta 12

En las familias encuestadas en la comunidad de Gareno, en relación a los desechos generados por las actividades agrícolas y silvícolas, la mayor parte de ellas no tiene conocimiento de cómo hacer uso de las mismos y dejan los residuos al ambiente para que se descompongan. En la encuesta, la pregunta más representativa es la que se explica en la Figura16 que dice que: Si quema los residuos orgánicos, ¿se aprovecha la ceniza o el carbón producidos? Respondiendo que el 13 % de las personas encuestadas aprovechan las cenizas de la biomasa quemada como abono natural para sus cultivos, mientras el 87 % no lo hacen, ni en ceniza ni en carbón. Con la encuesta se determinaron los tipos de desechos agrícolas y silvícolas que genera la comunidad en mayor cantidad, para posteriormente utilizarlos en la elaboración y posterior caracterización del biocarbón., los cuales fueron: desechos de ramas y troncos de cacao y residuos de pigüe (Figura 7,14).

4.1.2 TEMPERATURA

La temperatura y la descomposición de biomasa son: las condiciones y los parámetros del proceso de la pirolisis que influirá el rendimiento en peso del biocarbón (Pinedo, 2013). Las temperaturas máximas alcanzadas en la elaboración de biocarbón fue de 429.30 ºC en el pigüe y mientras con un 413.5 ºC en el cacao (**Tabla 1**), según Avedaño, *et al*., (2017) en cuanto a la masa de desechos maderables, la temperatura elevada alcanzada es mayor a 450 ºC y la temperatura óptima para el rendimiento de biocarbón es de 300 a 500 ºC, mencionada según Escalante, *et al***.,** (2016). Los biocarbones del CIPCA, etiquetado como el pigüe 2 fue elaborado de una manera artesanal y su temperatura no se pudo medir, mientras que pigüe 3 alcanzó una temperatura de elaboración superior a los 550 ºC (Ríos Guayasamín, *et al. In press*).

***Tabla 1*:** Valores de la temperatura en la elaboración de biocarbón.

Horas	CACAO TMAX			PIGUE TMAX		
	T1	T2	T3	T1	T2	T3
am 10:30	36	35	34,9	33,5	29,4	28,8
11:30	68,8	37,6	35,3	39,9	28,4	27,3
13:30	78,4	108,9	145,8	41	48,7	114,5
16:30	413,5	351,7	323,5	166,2	138,3	145,4
pm 20:30	380,4	222,8	212,6	429,3	368,7	283,7
am 1:30	168,3	148,1	114,8	111,7	139,4	118,9
7:30	98,1	52,6	48	95,1	122,5	99,3
pm 13:30	52,1	46,1	49,8	79	43,9	53,8
7:30	50	45,2	54,8	52,2	46,4	41,3
am 1:30	43,6	45,9	41,2	44,2	52,6	53
7:30	43,2	46,1	45,2	51,7	45,3	48,1
pm 13:30	39,7	37	40,5	47,3	49	43,9
7:30	36,8	33,7	35,2	43,2	45,3	44

Elaboración: Propia

4.2 LABORATORIO

4.2.1 HUMEDAD

El resultado se obtuvo aislando la humedad en una estufa de secado a 105 ºC por 24 horas de las diferentes muestras de biocarbón y luego se pesó cada una de las

muestras antes y después del secado: Los biocarbones elaborados en la comunidad de Gareno, codificados como cacao y pigüe 1 presentan condiciones diferentes. El porcentaje más alto de la humedad que se aisló es del cacao con un 57.6 % a diferencia del pigüe 1 que presentó un 8.86 %. Es necesario mencionar que el biocarbón de cacao no se encontró considerablemente seco por tal razón, presentó el porcentaje más alto (**Figura 18)**. Mientras que los biocarbones elaborados en el CIPCA, codificados como pigüe 2 y pigüe 3 muestran porcentajes similares. El pigüe 3 presentó un 13.73 %, mientras el pigüe 2 presentó un 13.39 % porque se utilizó biocarbones guardados en lonas, por tal razón adquirió humedad del ambiente (**Tabla 2**) Según Canales en el 2017, el porcentaje más alto registrado al momento de aislar la humedad de 8 a 15 %.

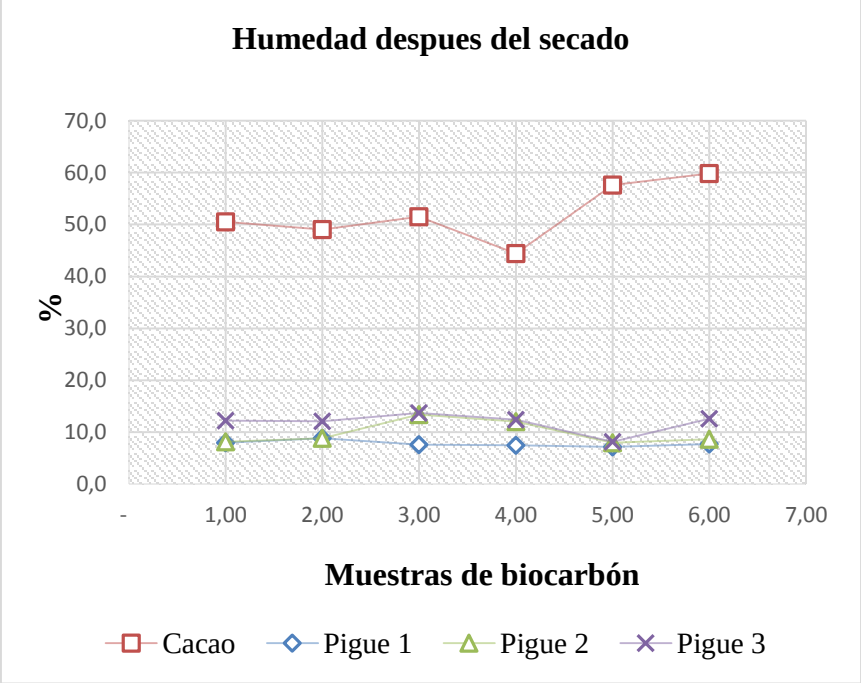


Figura 18: Valor de la humedad de distintas masas de biocarbón.

Humedad del biocarbón							
Cacao	50,5	Pigüe 1	8,00	Pigüe 2	8,18	Pigüe 3	12,26
Cacao	49,0	Pigüe 1	8,86	Pigüe 2	8,82	Pigüe 3	12,14
Cacao	51,5	Pigüe 1	7,62	Pigüe 2	13,39	Pigüe 3	13,73
Cacao	44,4	Pigüe 1	7,50	Pigüe 2	12,06	Pigüe 3	12,40
Cacao	57,6	Pigüe 1	7,20	Pigüe 2	8,00	Pigüe 3	8,18
Cacao	59,8	Pigüe 1	7,74	Pigüe 2	8,68	Pigüe 3	12,61

Tabla 2. Humedad de diferentes muestras de biocarbón

4.2.2 GRANULOMETRÍA

4.2.2.1 PESOS DE BIOCARBÓN

Se determinó el peso del tamaño de las partículas de diferentes tipos de biocarbón, codificados como cacao y pigüe 1 elaborados en la comunidad de Gareno y codificados como pigüe 2 y pigüe 3 obtenidos en el CIPCA: en el rango mayor a 20 mm, de tamaño resultó un peso mayor de 24.84^{a} gramos es el pigüe 3 (**Figura 19**), seguidamente el pigüe 1 con un peso de 24.84^{a} gramos, el pigüe 2 con un 24.44^{a} gramos y por último con peso de 21.52^{a} gramos el cacao. Mientras en el rango $\geq 10 \leq 20$ mm con un peso de 20.78^{a} gramos es de cacao, el pigüe 2 con un 20.42^{a} gramos, el pigüe 3 con el peso 19.32^{a} gramos y finalmente con peso de 19.18^{a} gramos es el pigüe 1 y con el valor más alto en el rango ≥ 3 mm ≤ 10 mm es el pigüe 2 con un 2.28^{a} gramos y con peso mínimo de 1.89^{a} gramos el pigüe 3. Para los pesos del rango $\leq 3 \geq 1$ mm y <1 mm, se utilizaron mallas metálicas que tienen una abertura de 3 mm y 1 mm, todo el material que cayó por la abertura de la malla se pesó: con el peso más alto encontrado en el cacao con un 3.15^{a} gramos y un peso menor de 1.28^{b} el pigüe 2, mientras que en el rango <1 mm con un peso significativo de 2.48^{a} el pigüe 3 y con un peso menor de 1.33^{b} el pigue 2 (**Tabla 3**). Se puede determinar que el biocarbón elaborado en el CIPCA presentó mayor peso en gramos para el pigüe 3 y un peso menor el cacao elaborado en la comunidad de Gareno.

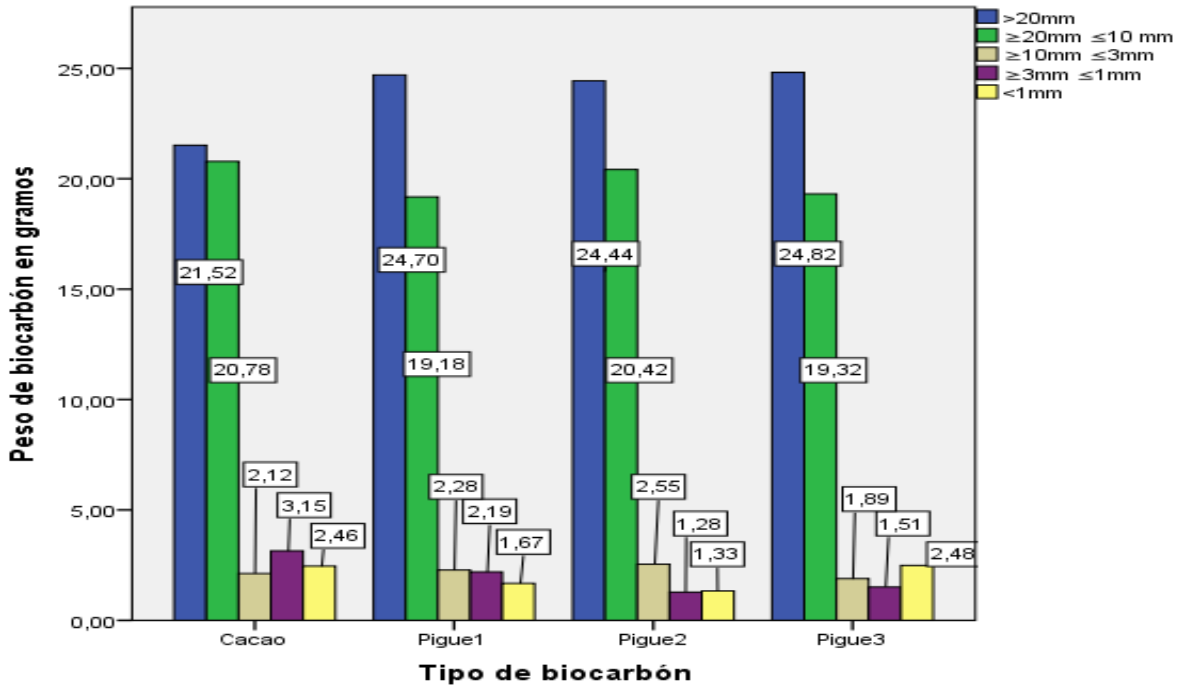


Figura 19. *Peso en gramos de diferentes tipos de biocarbón.*

El peso de biocarbón registrado de diferentes muestras al momento de realizar la granulometría en Brasil, dio los siguientes los resultados: las partículas > 2.0 mm con un peso de 18.38 gramos, mientras que, las partículas >10,0 mm se registraron con el peso 8.4 gramos (Miranda *et al*., 2015).

Tabla 3. Peso en gramos de diferentes tipos de biocarbón

Pesos de biocarbón en gramos												
		<1 mm		≤3mm ≥ 1 mm			≥3 mm ≤10 mm		≥10mm ≤ 20 mm		>20 mm	
Tipo	N	1	2	Tipo	1	2	Tipo	1	Tipo	1	Tipo	1
Pigüe 2	4	1,33[b]		Pig2	1,28[b]		Pig3	1,89[a]	Pig1	19,18[a]	Cacao	21,52[a]
Pigüe 1	6	1,67[b]	1,67[a]	Pig3	1,51[b]		Cacao	2,12[a]	Pig3	19,32[a]	Pig2	24,44[a]
Cacao	6		2,46[a]	Pig1	2,19[b]	2,19[a]	Pig1	2,28[a]	Pig2	20,42[a]	Pig1	24,70[a]
Pigüe 3	8		2,48[a]	Cacao		3,15[a]	Pig2	2,55[a]	Cacao	20,78[a]	Pig3	24,82[a]
Sig.		,813	,182		,195	,16		0,21		0,87		0,41

valores de los índices a: mayor, b: intermedio, c: bajo

Los pesos del diferente biocarbón se representan agrupados en categorías homogéneas.

El término de error es la media cuadrada (Error) = <1mm =.415, ≤3mm ≥ 1mm = .543. ≤10mm ≥ 3mm = .297, ≥10mm ≤ 20mm = 12.786, >20 mm= 12.228

a. El tamaño medio de la muestra armónica = 5.647
b. Los tamaños de grupo son desiguales. Se utilizó la media armónica de los tamaños de grupo y los niveles de error tipo I no están garantizados.
c. Alfa = 0.05

4.2.2.2 VOLUMEN DE BIOCARBÓN

Se determinó los volúmenes en cm^3 de los tamaños las partículas de diferentes tipos de biocarbón, codificados como cacao y pigüe 1 elaborados en la comunidad de Gareno y codificados como pigüe 2 y pigüe 3 obtenidos en el CIPCA: en el rango de ≤10 mm ≥3 mm: el volumen mayor es de pigüe 2 y cacao con un 0.08^{a} cm^3 que está dentro de la categoría 2 (**Figura 20)**, seguidamente con un volumen de 0.07^{ab} cm^3 el pigüe 1 está dentro de la categoría 1 y 2, mientras el pigüe 3 con 0.06^{b} cm^3 perteneciente a la categoría 1. En el rango ≥10 mm ≤ 20 mm con volumen mayor de 1.67^{a} cm^3 representa el pigüe 2 seguidamente con 1.55^{a} cm^3 el cacao y se encuentran en la categoría 2, con 1.28^{b} cm^3de volumen es el pigüe e 1 está dentro de la categoría1 y 2. Finalmente con 1.14^{b} cm^3 de volumen está el pigüe 3 perteneciente a la categoría 1. Dentro del rango >20mm: el volumen alto es el pigüe 2 con un 6.62^{a} cm^3, el pigüe 1 con un valor de 5.79^{a} cm^3, el cacao representa el 5.59^{a} cm^3 por último, con un volumen de 5.52^{a} cm^3 pigüe 3 pertenecientes a la categoría 1. Se determinó que el biocarbón elaborado en el CIPCA presentó mayor volumen en cm^3 con el pigüe 2 y con volumen menor el cacao elaborado en la comunidad de Gareno (Tabla 4).

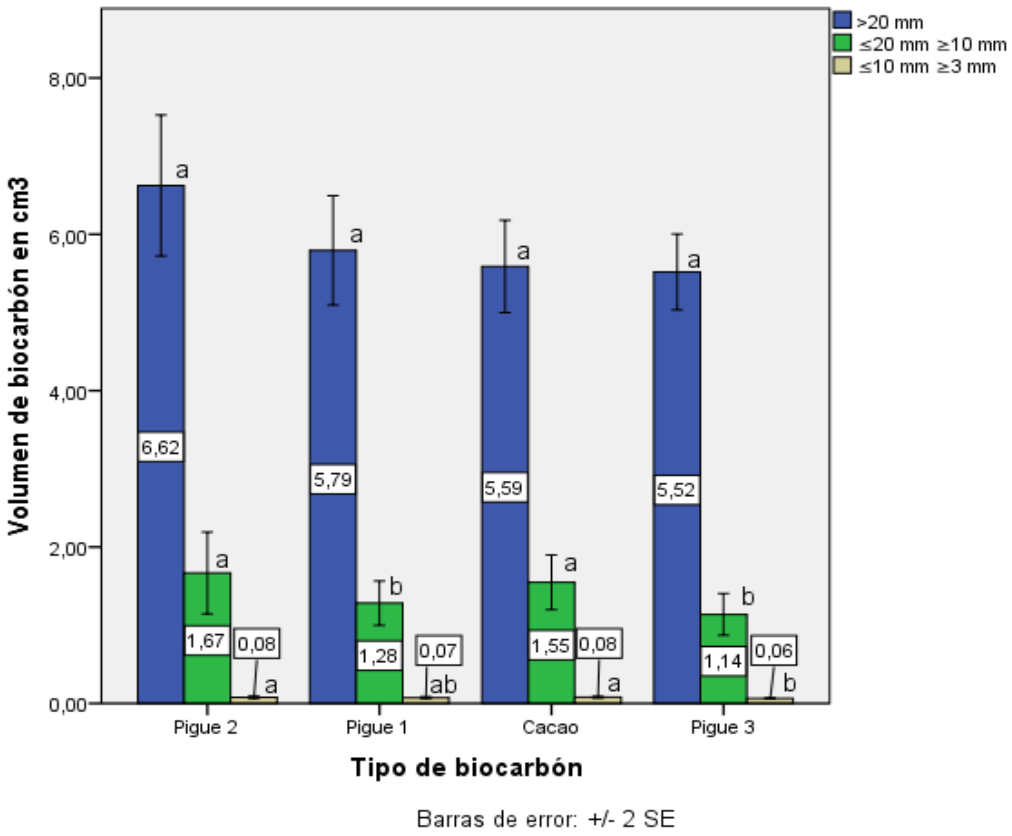


Figura 20. Volumen en cm^3 de diferentes tipos de biocarbón

Según Flaviano *et al* (2015), el biocarbón tiene propiedades físicas tales como la naturaleza de partículas, de alta porosidad, que ayudan en la retención de agua. La aplicación partículas de menor tamaño el suelo influye positivamente en la estructura, la porosidad y la densidad del suelo, también influyen en la aireación, la retención y la disponibilidad de agua y nutrientes, crecimiento de las plantas y la facilidad de labranza. La granulometría (≤ 2 mm y ≥ 2.1 ≤ 4.5 mm), mejoraron las condiciones físicas del suelo, principalmente la capacidad de retención del agua y el incremento de la capacidad de aireación, mejorando en sí el crecimiento de la planta de maíz (Villamagua *et al.* 2011). Mientras más pequeñas sean las estructuras de biocarbón, tienen mayor superficie en la adsorción y partición de los contaminantes orgánicos. La incorporación de biocarbón en el suelo para la remediación de los metales pesados hace que se elimine el cobre del 19.7 % al 100 %, mientras que en el plomo se logran remociones del 18.8% al 77 %. Para estos resultados se consideran mucho la dosificación y el tamaño de las partículas (Carrasquel, 2016; Villamagua *et al*., 2011).

Tabla 4. Volumen en cm^3 de diferentes tipos de biocarbón

Volumen de biocarbón							
≥3 mm ≤10 mm			≥10 mm ≤ 20 mm			>20 mm	
Tipo	1	2	Tipo	1	2	Tipo	1
Pigüe 3	.0638[b]		Pigüe 3	1,1379[a]		Pigüe 3	5,5184[a]
Pigüe 1	.0735[b]	.0735[a]	Pigüe 1	1,2821[a]		Cacao	5.5884[a]
Pigüe 2		.0775[a]	Caco		1,55[a]	Pigüe 1	5,7949[a]
Cacao		.0792[a]	Pigüe 2		1,6683[a]	Pigüe 2	6,6237[a]
Sig.	.013	.0220[a]	Sig.	0.114	0.129	Sig.	0,09

valores de los índices a: mayor, b: intermedio, c: bajo

Se visualizan las medias para los grupos en la categoría homogéneos.

El término de error es la media cuadrática (Error): ≥3 mm ≤10 mm=.004, ≥10 mm ≤ 20 mm = 3.509, >20 mm = 13,265.

a. El tamaño de la muestra de la media armónica: =119,068
b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utilizó la media armónica de los tamaños de grupo y los niveles de error de tipo I no están garantizados.
c. Alfa = 0,05.

4.5 POTENCIAL HIDRÓGENO (pH)

El análisis del pH de diferentes tipos de biocarbón, codificados como cacao y pigüe 1 elaborados en la comunidad de Gareno y codificados como pigüe 2 y pigüe 3 obtenidos en el CIPCA: en la disolución (1:10), el pH de cacao posee el valor más alto de 10.22[a] (**Figura 21**) que es significativamente diferente, del pigüe 3 con 9.91[a] a su vez, diferentes de pigüe 2 y pigüe 1 que poseen valores de 8.68[b] y 8.56[b] respectivamente. Mientras que en la dilución 1:20, el cacao muestra poseer un valor de 10.31[a], estadísticamente diferente del pigüe 3 (9.95[b]), y estos dos a su vez son diferentes: el pigüe 2 (8.95[c]) y el pigüe 1 (8.89[c]). El biocarbón elaborado en la comunidad de Gareno presentó el valor pH más alto como el cacao en comparación al pH del pigüe 2 elaborado en el CIPCA (Tabla 4).

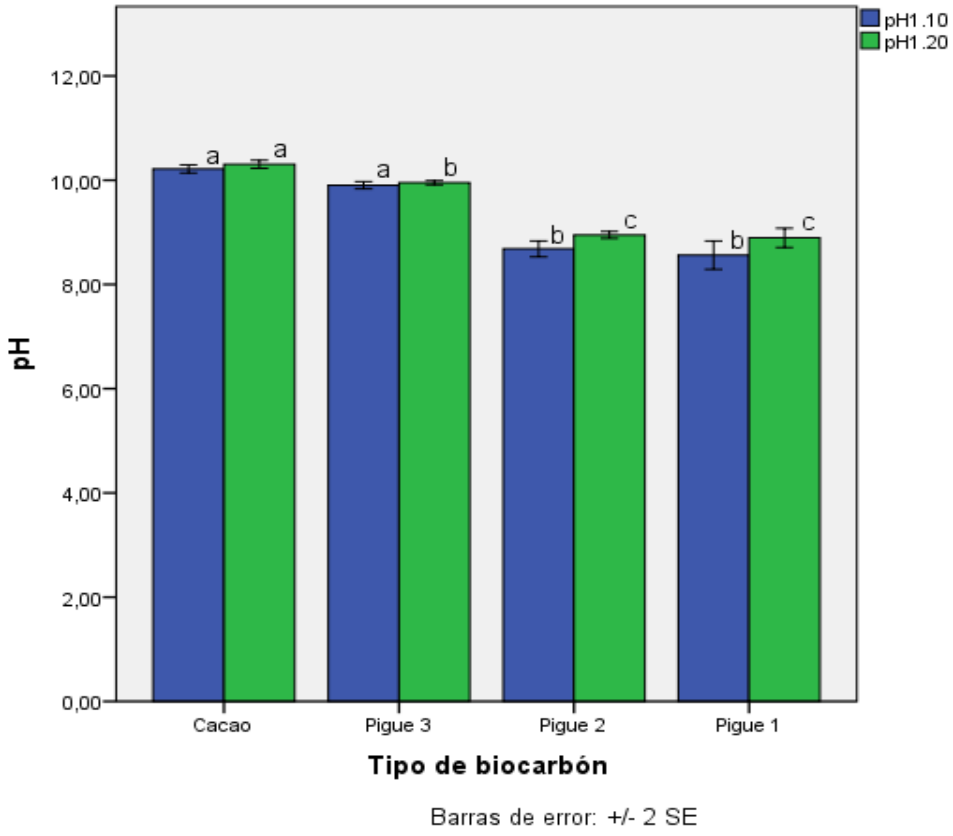


Figura 21. Valores de pH en concentración de (1:10; 1:20)

Los resultados obtenidos de pH en este estudio, son similares a los encontrados por Escalante *et al*. (2011), quien obtuvo valores de 7.8 a 8.5 de pH para el biocarbón de rastrojos de trigo, maíz, aserrín de pino, aserrín y viruta de eucalipto. Mientras en la

obtención de biocarbón de aguacate y de caña la variación de pH fue de 7.1 en la caña y y de 10.25 para el aguacate (Medina L, y Medina I, 2018).

Al adicionar el biocarbón en el suelo, se incrementaron los valores de pH en el rango de 6.8 a 7.2, mejorando las propiedades físicas y químicas del suelo (Villamagua *et al*., 2011). Según Molina (2013) el pH del suelo debe estar en un rango de 5.5 y 7.0 y debe contener una buena cantidad de materia orgánica. Al respecto, Alburquerque *et al* (2013) menciona que la adición del biocarbón con un pH de 8.5 en un suelo con pH de 6.5 provocó un aumento estadísticamente significativo a niveles de 7.5 en el pH del suelo; aumentando la capacidad de retención hídrica y disminuyendo la densidad aparente del suelo, por lo que la adición de biocarbón con carácter alcalino es beneficioso en suelos ácidos, condiciones que podemos encontrar en la mayoría de escenarios de la Cuenca Amazónica. Por lo que se prevé que todos los biocarbones obtenidos en este estudio tengan una influencia significativa en el suelo, al incrementar su pH y de esta manera contribuir a una restauración ecológica de utilización (para mejorar suelos de pasto, cultivo y/o silvícolas), o de conservación (al restaurar condiciones óptimas de suelo en lugares cuyo pH haya sido alterado por actividades extractivistas).

Tabla 5.Concentración de pH de (1:10;1:20)

Potencial Hidrógeno						
Tipo	N	pH 1:10		pH 1:20		
		1	2	1	2	3
Pigue 1	6	8,56		8,89		
Pigue 2	4	8,68		8,95		
Pigue 3	8		9,91		9,95	
Cacao	6		10,22			10,31
Sig.		0,717	0,06	0,88	1	1

valores de los índices a: mayor, b: intermedio, c: bajo

Se visualizaron las medias para los grupos en las categorías homogéneos.
El término de error es la media cuadrática (Error) : pH 1:10 = ,037 y pH1:20 = ,017

a. El tamaño de la muestra de la media armónica: pH 1:10 = 5,647 y pH1:20 = 5.647
b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utilizó la media armónica de los tamaños de grupo y los niveles de error de tipo I no están garantizados.
c. Alfa = pH 1:10 = 0,05 y pH1:20 = 0,05

4.6 CONDUCTIVIDAD ELÈCTRICA (CE)

En la realización del análisis de la conductividad eléctrica de los diferentes tipos de biocarbón, codificados como cacao y pigüe 1 elaborados en la comunidad de Gareno y codificados como pigüe 2 y pigüe 3 elaborados en el CIPCA: la concentración 1:10: en el Figura 22, el valor más alto de la CE es de 3864.17^{a} $\mu S/cm^{-1}$ de cacao estadísticamente diferente, del pigüe 3 con 2602.62^{b} $\mu S/cm^{-1}$, a su vez diferente del pigüe 2 (417.28^{c} $\mu S/cm^{-1}$) y el pigüe 1 con 408.43^{c} $\mu S/cm^{-1}$. En la determinación del análisis en la difusión 1:20: La CE más alta es de cacao con 2501.67^{a} $\mu S/cm^{-1}$ significativamente diferentes de los restos de los biocarbonos, es diferente el pigüe 3 con un valor de 1218.90^{b} $\mu S/cm^{-1}$ mientras estos a su vez son diferentes del pigüe 2 con 293.68^{c} $\mu S/cm^{-1}$ y el pigüe 1 289.37^{c} $\mu S/cm^{-1}$ 1 (**Tabla 6**). El biocarbón elaborado en la comunidad de Gareno presentó el valor más alto de la CE como el cacao, mientras con un valor inferior presentó el pigüe 2 elaborado en el CIPCA.

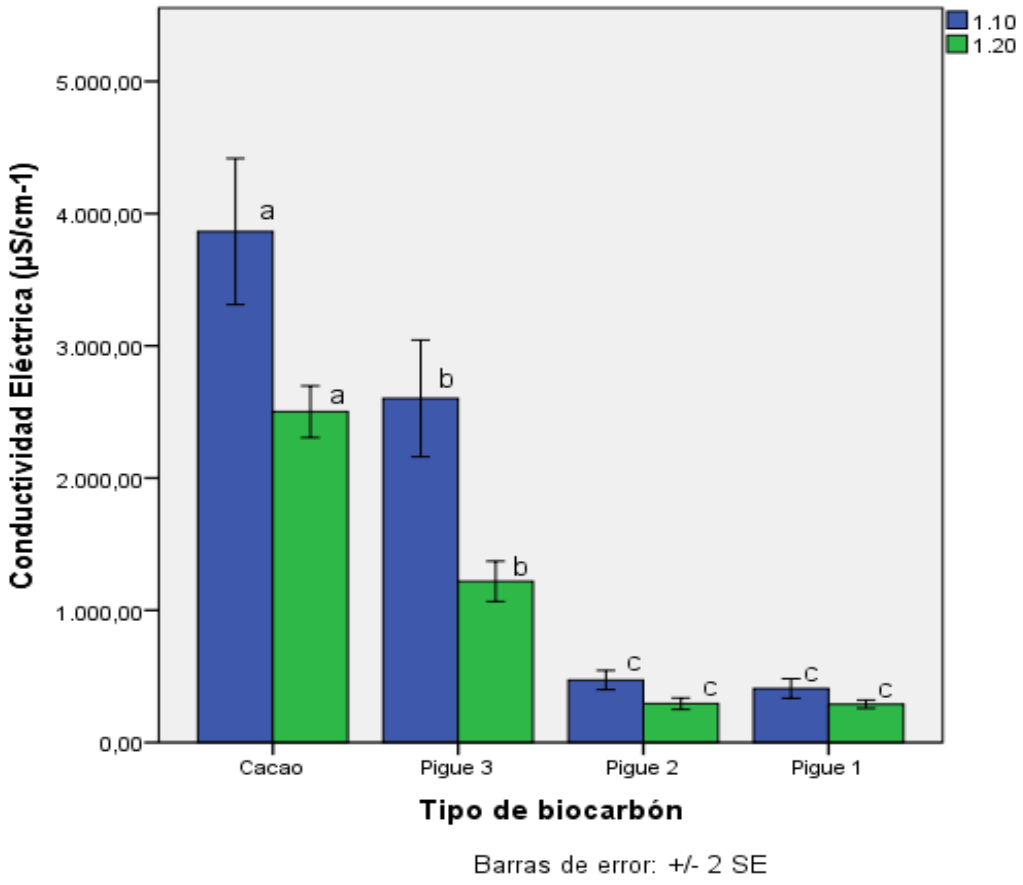


Figura 22. *Valores de CE en concentración de (1:10; 1:20)*

Según Medina (2018), los resultados obtenidos de la conductividad eléctrica (CE) analizados de distintas muestras de biocarbón no varían mucho en cuanto caña 1, caña

2, caña 3 de 2170 a 3320 μS/cm^{-1} mientras la CE en el aguacate presentó de 920 μS/cm^{-1}. En la obtención de biocarbón de la madera de *Gmeline arbórea* se presentó una conductividad eléctrica de 700 μS/cm^{-1} a diferencia del biocarbón de oliva cuya CE fue de 2430 μS/cm^{-1} y de astilla de pino con 256 μS/cm^{-1} (Alburquerque *et al.*, 2013; Cabello, 2013). La conductividad eléctrica depende considerablemente de la temperatura máxima de preparación en el proceso de pirólisis, y el biocarbón a su vez ayuda a regular los iones de sodio en el suelo, además tiene la capacidad de reducir su salinidad y mejorar el crecimiento de las plantas (Cabello, 2013). Según Soria y Tang *et al* (2016), los biocarbones con alta conductividad electrica pueden aumentar la salinidad del suelo causando un impacto negativo en el crecimiento de las plantas.

Tabla 6. Concentraciones de Conductividad Eléctrica de (1:10;1:20)

Conductividad Eléctrica (μS.cm-1)							
Tipo	N	EC 1:10			EC 1:20		
		1	2	3	1	2	3
Pigue 1	6	408,43			289,37		
Pigue 2	4	471,28			293,68		
Pigue 3	8		2602,63			1218,90	
Cacao	6			3864,17			2501,67
Sig.		,997	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

valores de los índices a: mayor, b: intermedio, c: bajo

Se aprecia las medias para los grupos en las categorías homogéneas.

El término de error es la media cuadrática (Error) : EC 1:10 = 254028,771 y EC1:20 = 31079,654.

a. El tamaño de la muestra de la media armónica: EC 1:10 = 5,647 y EC1:20 = 5,647.
b. Los tamaños de grupo no son iguales. Se utilizó la media armónica de los tamaños de grupo y los niveles de error de tipo I no están garantizados.
c. Alfa = EC 1:10 = 0,05 y EC1:20 = 0,05

CAPÍTULO V

5.1 CONCLUSIONES

Con la aplicación de las encuestas se pudieron determinar las clases de desechos agrícolas y silvícolas generados en la comunidad de Gareno, a partir de los cuales se tomó en cuenta la realización de biocarbón con los residuos de pigüe y cacao.

Las temperaturas máximas alcanzadas en el proceso de pirólisis en la elaboración de biocarbón por el método tradicional, en horno de tierra, fueron de 429.3 ºC para el pigüe 1 y de 413.5 ºC para el cacao, con una duración de tres días para la obtención de 200 kg de biocarbón de cacao (con una conversión del 26 %) y la obtención de 200 kg de biocarbón de pigüe 1 (con una conversión del 34%).

Los pesos del biocarbón estadísticamente significativa dentro de la granulometría fueron; en el rango > 20 mm fue el pigüe 3 con un peso de 49 % , en el rango ≥10 ≤ 20 mm el cacao con un peso de 43 % y en el rango ≥3 mm ≤10 mm el pigüe 2 con un peso de 5 %. Mientras en el rango ≤3 ≥ 1 mm con un peso de 6 % presentó el cacao y en el rango <1 mm sobresalió el pigüe 3 con un peso de 5 % y para estos dos últimos rangos se utilizó mallas metálicas que tienen una abertura de 3 mm y 1 mm. En los pesos de los biocarbonos de diferentes rangos dentro de la granulometría; el biocarbón elaborado CIPCA presentó un peso mayor en gramos el pigüe 3 a diferencia del cacao elaborado en la comunidad de Gareno.

En cuanto al volumen el rango ≤10 mm ≥3 mm, el pigüe 2 y cacao con un 0.08 cm^3, el rango ≥10 mm ≤ 20 mm con volumen mayor de 1.67 cm^3 representa el pigüe 2 y >20mm pigüe 2 con un 6.62 cm^3 son los valores más representativos de biocarbón dentro de la granulometría. El biocarbón elaborado CIPCA presenta mayor volumen en cm^3 el pigüe 2 a diferencia que el cacao elaborado en la comunidad, mientras más pequeñas sean las estructuras de biocarbón tienen mayor superficie en la adsorción de los metales pesados Los gránulos de biocarbón en el rango (≤ 2 mm y ≥ 2.1 ≤ 4.5 mm), mejoraron las condiciones físicas del suelo, principalmente capacidad detención del agua y el incremento de la capacidad de aireación mejorando el crecimiento de la plata.

El biocarbón de cacao obtuvo los valores más representativos en la dilución de 1:10 (con pH de 10, 22 y CE 3864,17 $\mu S.cm^{-1}$) y en la dilución de 1:20 (con pH 10,31 y una

CE de 2501,67 $\mu S.cm^{-1}$), tanto el pH como la CE juegan un papel fundamental al momento de adicionar el biocarbón en los diferentes tipos de suelos. El biocarbón elaborado en la comunidad de Gareno presentó el valor de pH y la CE más alto en comparación al pH y CE del pigüe 2 elaborado en el CIPCA. Los resultados tanto de pH y como de la CE son aceptables, con los valores del pH se podría aplicar en los suelos ácidos de 3.5 porque ayudará a neutralizar la acidez y con la CE alta en los suelos que presentan poca salinidad.

5.2 RECOMENDACIÓN

El uso de biocarbón es una tecnología innovadora en la actualidad que ha demostrado proveer beneficios al suelo. Es muy importante realizar estudios del biocarbón, porque falta mucho conocimiento del efecto que puede repercutir a largo plazo el uso del biocarbón en el suelo y la implementación de nuevas técnicas en la caracterización del biocarbón en definir sus propiedades físicas, químicas y biológicas permitirá ver su comportamiento y su eficiencia en el suelo

CAPÍTULO VI

6.1 BIBLIOGRAFÍA

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. CHEMO SPHER E . 2013.10.071

Alburquerque, J. ., Calero, J. ., Barrón, V., Castellet, J., Del Campillo, M. ., Gallardo, A., & Villar, R. (2013). *El biocarbón como una herramienta para limitar las emisiones de CO2 y mejorar las propiedades del suelo en el ámbito Mediterráneo*. Retrieved from https://www.congresoforestal.es/actas/doc/6CFE/6CFE01-549.pdf

Avedaño, H. F. H. M. & E. F. P. (2017). Evaluacion del Biochar por Pirolisis lenta como medio adsorbente de Cinc, Cobre, Cromo y Niquel., 1–66.

Baronti, S., Vaccari, F. P., Miglietta, F., Calzolari, C., Lugato, E., Orlandini, S., … Genesio, L. (2014). Impact of biochar application on plant water relations in Vitis vinifera (L.). *European Journal of Agronomy*, *53*, 38–44. https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.11.003

Cabello, B. M. (2013). *Evaluación del biocarbón como enmienda correctora de la clorosis*. Retrieved from https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/12755/Marta Cabello Bermúdez.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Canales, I. I. (2017). *Valorización de biocarbones obtenidos mediante pirólisis de residuos orgánicos*. Retrieved from http://repositorio.upct.es/bi tstream/ handle/10317/6096/tfm-can-val.pdf?sequence=1

Carrasquel, H. M. A. (2016). *Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos aplicando biocarbón y tratamientos térmicos*. Retrieved from http://159.90.80.55/tesis/000172038.pdf

Chango, R. M., & Morales, K. M. (2017). Metabolismo social en la comunidad Huaorani Gareno de Napo frente a la comunidad Huaorani Tiwino Huao de Orellana en relación a las dimensiones comunitarias de salud, 11.

De Murcia, U., Espinosa Ramírez, E., Limas, A., Rivera Ortiz, E. ;, Romero Díaz, P. ;, & De, A. D. (2011). Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas., 77–88. Retrieved from http://www.redalyc.org/a rticulo.oa? id = 40 721572006

Ejecatl, L., Orozco, M., & Medina Orozco, I. N. (2018). Mobile autothermic prototype for biochar production using biomass of avocado crop byproducts, *36*(2), 9. https://doi.org/10.28940/terra.v36i2.217

Escalante Rebolledo, A., Pérez López, G., Hidalgo Moreno, C., López Collado, J., Campo Alves, J., Valtierra Pacheco, E., … Valtierra Pacheco D Etchevers Barra, E. J. (2016). *Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo Biocarbon (biochar).* Retrieved from http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00367.pdf

FAO. (2015). The importance of soil organic matter. Key to drought-resistant soil and sustained food production., 1–2. Retrieved from http://www.fao.org

Flaviano, J., Lira, B. De, Eugênia, M., De, F. D., Pamplona, J. P., Paula, J., … Filho, O. (2015). Granulometria do biochar influenciando retenção de água e nutrientes em três solos da Chapada do Apodi-RN., (1), 1–4.

Graber, E. R., Harel, Y. M., Kolton, M., Cytryn, E., Silber, A., David, D. R., … Elad, Y. (2010). Biochar impact on development and productivity of pepper and tomato grown in fertigated soilless media. *Plant and Soil*, *337*(1), 481–496. https://doi.org/10.1007/s11104-010-0544-6

Herrera, J. D. (2016). Erosiòn de suelo por fertilizantes de la agrucultura convencional, efecto en el cultivo de maiz versus bosque primario en Jauneche., 121.

Ippolito, J., Lentz, R., Novak, J., Spokas, K., Collins, H., & Streubel, J. (2011). Biochar usage: Pros and cons, *9*, 93–97. Retrieved from https://eprints.nwisrl.ars .usda.gov/1522/1/1484.pdf

Jeffery, S., Verheijen, F. G. A., van der Velde, M., & Bastos, A. C. (2011, November 1). A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Elsevier. https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.08.015

Lehmann, J., & Joseph, S. (2015). Biochar for Environmental Management . Retrieved October 2, 2018, from https://www.book2look.com/embed/9781134489602

Lui Xu, L. (2015). Desarrollo de nuevos sustratos a base de compost y biochar para la propagación y producción de Rosmarinus officinalis L . En vivero profesional, 2014–2015.

Medina, O. L. E., & Medina, O. I. N. (2018). Mobile autothermic prototype for biochar production using biomass of avocado crop byproducts, 36(2), 9. https://doi.o rg/10. 28 9 40/terra.v36i2.217

Molina Montenegro D, 2013. Evaluación de la aplicación de biochar en un cultivo de Physalis peruviana L. (uchuva). Tesis previo a la obtencion de titulo de Biologo. Pontificia Universidad Javeriana (pp. 3-36)

Miranda, N. de O., Costa, M. E., França, F. D., Pamplona, J., Lima, J., & Anchieta, O. (2015). Granulometria do biochar influenciando retenção de água e nutrientes em três solos da chapada do apodi-rni, (84), 576–581.

Nates, O. E. M. (2014). Evaluación del efecto de biochar en el suelo y la calidad de los frutos en un cultivo de Uchuva, 44. Retrieved from https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/17900/NatesOcampoEvelynMaria2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Posse, G., Lewczuk, N., & Richter, K. (2014). Sustentabilidad y las emisiones de carbono en la agricultura argentina (pp. 66–74).

Pinedo, A.U. (2013). Obtención de biocarbones y combustible mediante pirólisis de biomasa residual. Previo a Máster Universitario en Ciencia y Tecnología Química (pp.9-70)

Prieto, M. (2016). Efectos del biochar sobre el suelo , las características de la raíz y la producción vegetal. Facultad de Ciencias., 156. Retrieved from https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/13381/2016000001398.pdf?sequence=1

Ríos Guayasamín, P., Villalta, V., Ortega, E. 2019. Propiedades fisico químicas de biocarbones elaborados en la amazonía ecuatoriana. in press.

Soria Martines, L. M. (2016). Producción y evaluación de biocarbón para la adsorcion de sodio en suelos salinos. Tesis previo a la obtención de título en Maestro en Ciecias de Produción Agrícola Sustentable. Institulo Politécnico Nacional-Mexico (PP. 1-75).

Singh, B., Arbestain, M. C., & Lehmann, J. (2017). Biochar. A guide to analytical methods. Biochar pH, electrical conductivity and liming potential. Retrieved from https://books.google.com.ec/books/about/Biochar.html?id=brVinQAACAAJ&redir_esc=y

Tang, A. T., Duman, G., Ucar, S., & Yanik, J. (2016). Effects of Feedstock Type and Pyrolysis Temperature on Potential Aplicationes of Biochar. *Journal of Analytical and Appliend Pyrolysis.*

Ulyett, J., Sakrabani, R., Kibblewhite, M., & Hann, M. (2014). Impact of biochar addition on water retention, nitrification and carbon dioxide evolution from two sandy loam soils. *European Journal of Soil Science*, *65*(1), 96–104. https://doi.org/doi:10.1111/ejss.12081

Valdez, J. ., Badi, M. ., Guillen, A., & Acuña, M. . (2015). *Causes and Socio-Economic and Environmental Impacts of Erosion*. *Daena: International Journal of Good Conscience* (Vol. 10). Retrieved from http://www.spentamexico.org/v10-n1/A6.10(1)76-87.pdf

Villalta, V. A., & Ortega, E. J. (2018). Diferencias de parámetros físicos-químicos de suelo en el proceso de restauración por enmiendas de biochar. Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental. UEA, 16.

Villamagua, M., Valarezo, L., Valarezo, C., Tandazo, C., & Ramón, M. (2011). Efecto de granulometrías de biocarbon sobre las condiciones físicas del suelo y tensiones de humedad en el cultivo del tomate Solanumlycopersicum , bajo invernadero, 93–105.

Zhang, H. (2014). Biochar Effects on Soil Microbial Biomass and Activity. In partial fulfilment of requirements for the degree of Doctor of Philosophy in Land Resource Science (pp. 1–74). http://hdl.handle.net/10214/8041

CAPÍTULO VII

7.1 ANEXO FOTOFRAFÍAS



Anexo 1. Residuos agrícolas y silvícolas



Anexo 2. Peso de Residuos



Anexo 3. Desecho agrícola y silvícola colocado en la posa de hornos de tierra.



Anexo 4. Los desechos cubierto hierbas y tierra encima.



Anexo 5. Biocarbón de los desecho agrícola y silvícola.



Anexo 6. Peso de biocarbón en el laboratorio.



Anexo 7. Granulometría con mallas metálicas.



Anexo 8. Biocarbón.



Anexo 9. Peso de biocarbón de las muestras.



Anexo 10. Muestras de diferentes biocarbón.



Anexo 11. Muestras de biocarbón en un agitador orbital.



Anexo 12. Análisis de pH y EC.





Anexo 13. Medición de biocarbón >20 mm.



Anexo 14. Cantidad de biocarbón >20 mm.



Anexo 15. Medición de biocarbón ≤20 mm ≥10 mm.



Anexo 16. Cantidad de biocarbón ≤20 mm ≥10



Anexo 17. Medición de biocarbón ≤ 10 mm ≥3 mm.

Anexo 18
biocarbón ≤







Anexo 19. Cantidad de biocarbón ≤ 3 mm ≥

Anexo 20
biocarbón

M F

7.2 ANEXO 22 ENCUESTA



Cód.

Datos generales del entrevistado

Nacionalidad……..
Parroquia……
Comunidad…….
Sexo

Edad……..

Sin título.....☐
Nivel primario.....☐
Nivel secundario...☐
Nivel superior..... ☐

Estudios

Empleo

Campesino/a.....☐
Granjero/a.....☐
Pescador/a.....☐
Comerciante.....☐
Trabajo en turismo comunitario.....☐
Casero/a.....☐
Estudiante.....☐
Desempleado/a.....☐
Retirado/a.....☐
Otro (especificar)_____

1.- Características de la actividad económica de la comunidad (marque la o las actividades que desarrolla).

a. Actividad agrícola
b. Actividad forestal
c. Servicios agrícolas y forestales
d. Otras actividades……

2.- ¿Qué tipos de desechos agrícolas y silvícolas genera?

a. Restos de tubérculos
b. Arbustos
c. Ramas
d. Cortezas
e. Restos de madera

f. Otros (especificar)……..**.....**

3.- ¿Qué tipos de desechos genera en la siembra?

a. Arbustos
b. Ramas
c. Cortezas
d. Restos de madera
e. Otros (especificar)……..**.....**

4.- ¿Qué tipos de desechos genera en la cosecha?

a. Restos de tubérculos
b. Ramas
c. Corteza
d. Otros (especificar)……..**.....**

5.- Usted que hace con los residuos agrícolas/silvícolas generados:

a. Arroja al ambiente
b. Hacen abono
c. Los reutiliza
d. Otros (especificar)……...

6.- ¿Qué hacen con los desechos genera en la siembra?

a. Arroja al ambiente
b. Hacen abono
c. Queman los desechos
d. Otros (especificar)……...

7.- ¿Qué hacen con los desechos genera en la cosecha?

a. Arroja al medio ambiente
b. Hacen abono
c. Queman los desechos
d. Otros (especificar)……...

8.- ¿Cómo es el aprovechamiento de los desechos agrícolas y silvícolas que generan?

a. Sembrío
b. Compostaje
c. Estaca o cerca
d. Leña
e. Otros (especificar)……...

9.- ¿Qué tipo de desechos de madera se genera en la actividad agrícola y silvícola?

a. Cedro
b. Batea
c. Laurel
d. Ceibo
e. Guayacán
f. Canelo
g. Copal
h. Pigüe
f. Otros(especificar)……...

10.- ¿Qué hace con los desechos de madera se generaron en la actividad agrícola y silvícola?

a. Recolecta para la leña
b. Quema
c. Deja que pudra al ambiente
d. Aprovechamiento para la construcción
e. Otros(especificar)……..**...**

11..- Si quema, aprovecha la ceniza o el carbono

a. Ceniza
b. Carbón
c. Ceniza y carbón juntos

12.- ¿Cómo es el proceso de aprovechamiento de los restos quemados?

a. Se aplican en los cultivos cercanos a la casa
b. Se aplican en los cultivos lejanos a la casa
c. No aplican en los cultivos