



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

**“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE BIOCHAR OBTENIDO
MEDIANTE PIRÓLISIS DE RESIDUOS AVÍCOLAS, Y LODOS DE
DEPURADORA.”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORAS: VALERIA BRIGITTE FERNÁNDEZ VIVANCO

AMANDA GABRIELA LÓPEZ PORTILLA

TUTORA: M.Sc RAFAELA VITERI UZCÁTEGUI

Riobamba – Ecuador

2018

2018©, Valeria Brigitte Fernández Vivanco y Amanda Gabriela López Portilla

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal de Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: “**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE BIOCHAR OBTENIDO MEDIANTE PIRÓLISIS DE RESIDUOS AVÍCOLAS, Y LODOS DE DEPURADORA.**”, de responsabilidad de las señoritas egresadas Valeria Brigitte Fernández Vivanco y Amanda Gabriela López Portilla ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

MSc. María Rafaela Viteri Uzcátegui

**DIRECTORA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Ing. Paúl Gustavo Palmay Paredes

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

“Nosotras, Valeria Brigitte Fernández Vivanco y Amanda Gabriela López Portilla somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”.

Valeria Brigitte Fernández Vivanco

Amanda Gabriela López Portilla

DEDICATORIA

A mi familia, en especial a mis padres por todo su amor, sacrificio y siempre estar para mí.

A mis abuelitas Judith y Teresa por siempre tenerme en sus oraciones.

A Gaby, por ser mi amiga y compañera incondicional, le agradezco y dedico este logro que juntas construimos con mucho esfuerzo.

Brigitte

DEDICATORIA

A mis padres por su enorme sacrificio y constancia para conmigo, en especial a mi mami por ser esa amiga amorosa e incondicional.

A la memoria de mi abuelito Gabriel por bendecirme y guiarme desde el cielo.

A mis abuelitos por su cariño, amor y por ser mis compinches en cada travesura, y a mi hermana por sus locuras y por demostrarme que puedo contar con ella para todo.

A Brig, mi mejor amiga le dedico este logro que juntas construimos y alcanzamos con mucho esfuerzo. Te quiero mucho.

Gabi

AGRADECIMIENTO

A Dios, por bendecir, guiar nuestro camino y permitirnos haber alcanzado una meta tan importante como ésta.

A nuestros padres Luis Fernández y Mercy Vivanco; Edmundo López y Amanda Portilla por acompañarnos en cada etapa de nuestra vida, enseñándonos a afrontar cada adversidad.

A nuestros abuelitos Judith Aguirre y Teresa de la Cueva; José Portilla y Dorinda Zavala por todo su amor y cariño.

A nuestros hermanos Luis, Pamela y Camilo; Melissa por sus ánimos constantes.

A Ricardo Aguilar y a Erick Gaibor, por su apoyo incondicional.

A nuestros queridos amigos, que se han convertido en nuestra segunda familia y han llenado nuestros corazones de alegría en cada experiencia.

A la Ing. Rafaela Viteri por la confianza brindada, orientación, conocimientos compartidos y en especial, por su amistad.

Al Ing. Paúl Palmay por su excelente asesoría, orientación y colaboración para desarrollar esta investigación.

Al personal de los Laboratorios de Fertilizantes de AGROCALIDAD y la Escuela Politécnica Nacional, en especial al Ing. Marcelo López, por la colaboración y facilidades necesarias en la parte práctica de esta investigación.

Al Ing. Josué Vélez, Msc. Jenner Baquero, Dr. Raúl Benavides y al Dr. William Bravo por su tiempo, colaboración y paciencia brindada.

Valeria Brigitte Fernández Vivanco

Amanda Gabriela López Portilla

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	X
LISTADO DE ANEXOS	XI
INDICE DE ABREVIATURAS.....	XII
RESUMEN.....	XIII
SUMMARY	XIV
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	2
JUSTIFICACIÓN	5
OBJETIVOS.....	7
GENERAL	7
ESPECÍFICOS	7
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÓRICO.....	8
1.1. Pirólisis.....	8
<i>1.1.1. Ventajas de la pirólisis.....</i>	<i>10</i>
<i>1.1.2. Desventajas de la pirólisis</i>	<i>10</i>
<i>1.1.3. Tipos de pirólisis.....</i>	<i>11</i>
<i>1.1.3.1. Pirólisis lenta.....</i>	<i>11</i>
<i>1.1.3.2. Pirólisis rápida.....</i>	<i>12</i>
1.2. Biochar	12
<i>1.2.1. Reacción general del biochar.....</i>	<i>13</i>
<i>1.2.2. Características del biochar.....</i>	<i>14</i>
<i>1.2.3. Aplicaciones del biochar.....</i>	<i>15</i>
<i>1.2.3.1. Mejoramiento del suelo</i>	<i>15</i>
<i>1.2.3.2. Remediación de metales pesados</i>	<i>16</i>
<i>1.2.3.3. Eliminación de contaminantes orgánicos.....</i>	<i>16</i>
<i>1.2.3.4. Filtro de aguas residuales</i>	<i>17</i>
1.3. Biomasa utilizada en la pirólisis.....	17
<i>1.3.1. Residuos ganaderos</i>	<i>17</i>
<i>1.3.2. Residuos agrícolas</i>	<i>18</i>
<i>1.3.3. Residuos forestales</i>	<i>18</i>
<i>1.3.4. Residuos urbanos orgánicos.....</i>	<i>19</i>
<i>1.3.5. Residuos avícolas (gallinaza).....</i>	<i>19</i>

1.3.6.	<i>Lodos de depuradora de aguas residuales urbanas.....</i>	<i>21</i>
1.4.	Eficiencia del biochar.....	23
1.4.1.	<i>Carbono orgánico.....</i>	<i>24</i>
1.4.2.	<i>Nitrógeno total.....</i>	<i>24</i>
1.4.3.	<i>Fósforo total.....</i>	<i>25</i>
1.4.4.	<i>Potasio.....</i>	<i>25</i>
1.4.5.	<i>Calcio.....</i>	<i>25</i>
1.4.6.	<i>Magnesio.....</i>	<i>26</i>
1.4.7.	<i>Azufre.....</i>	<i>26</i>
1.4.8.	<i>Humedad.....</i>	<i>27</i>
1.4.9.	<i>Materia orgánica.....</i>	<i>27</i>
1.4.10.	<i>C/N.....</i>	<i>28</i>
1.4.11.	<i>Cenizas.....</i>	<i>28</i>
1.4.12.	<i>pH.....</i>	<i>29</i>
1.4.13.	<i>Conductividad eléctrica.....</i>	<i>29</i>
1.4.14.	<i>Cobre.....</i>	<i>29</i>
1.4.15.	<i>Zinc.....</i>	<i>30</i>
1.5.	Factores que influyen en el proceso de pirólisis	30
1.5.1.	<i>Temperatura.....</i>	<i>31</i>
1.5.2.	<i>Tiempo de residencia.....</i>	<i>31</i>
1.5.3.	<i>Composición del sustrato.....</i>	<i>32</i>
1.5.4.	<i>Intervalo de calentamiento.....</i>	<i>32</i>
1.5.5.	<i>Presión.....</i>	<i>33</i>
CAPÍTULO II		
2.	PARTE EXPERIMENTAL	34
2.1.	Metodología	34
2.1.1.	<i>Métodos.....</i>	<i>34</i>
2.1.1.1.	<i>Muestreo.....</i>	<i>34</i>
2.1.1.2.	<i>Preparación de las muestras.....</i>	<i>35</i>
2.1.1.3.	<i>Producción de biochar mediante pirólisis.....</i>	<i>35</i>
2.1.1.4.	<i>Caracterización de la biomasa y del biochar.....</i>	<i>36</i>
2.1.1.5.	<i>Determinación de la eficiencia de biochar.....</i>	<i>36</i>
2.1.2.	<i>Técnicas.....</i>	<i>37</i>
2.1.3.	<i>Materiales, Equipos y Reactivos.....</i>	<i>38</i>
2.1.3.1.	<i>Materiales Experimentales.....</i>	<i>38</i>
2.1.3.2.	<i>Materiales de laboratorio.....</i>	<i>39</i>
2.2.	Diseño de la investigación.....	40

2.2.1.	<i>Diseño experimental</i>	40
2.2.2.	<i>Lógica de la investigación</i>	40
2.2.3.	<i>Planteamiento de la hipótesis</i>	41
2.2.4.	<i>Población de estudio</i>	41
2.2.5.	<i>Tamaño de muestra</i>	41
2.2.6.	<i>Identificación de variables</i>	42
CAPÍTULO III		
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
3.1.	Muestreo	43
3.2.	Preparación de la muestra	44
3.3.	Producción de biochar mediante pirólisis	45
3.4.	Caracterización de biomasa	45
3.5.	Caracterización de biochar	48
3.5.1.	<i>Biochar derivado de residuos avícolas</i>	48
3.5.2.	<i>Biochar derivado de lodos de depuradora</i>	51
3.6.	Determinación de la eficiencia de biochar	57
3.6.1.	<i>Método pivote</i>	57
3.6.2.	<i>Prueba Chi-Cuadrado</i>	59
3.6.3.	<i>Modelo Lineal General Multivariante</i>	61
CONCLUSIONES		70
RECOMENDACIONES		72
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Procesos de pirólisis y distribución de los productos generados	9
Tabla 2-1. Comparación de rendimientos (% p/p) de las fracciones obtenidas en función del tipo de proceso termoquímico	11
Tabla 3-1. Caracterización de diferentes tipos de gallinaza	21
Tabla 4-1. Principales propiedades químicas de dos muestras lodos de depuradora	22
Tabla 1-2. Métodos y Técnicas para la determinación físico-química de la materia prima y el biochar.....	37
Tabla 2-2. Materiales Experimentales.....	38
Tabla 3-2. Equipos utilizados.....	39
Tabla 4-2. Materiales de laboratorio	39
Tabla 5-2. Tipo de variables.....	42
Tabla 1-3. Puntos de muestreo de residuos avícolas	43
Tabla 2-3. Puntos de muestreo de lodos de depuradora	44
Tabla 3-3. Cantidad de biochar obtenido por muestra	45
Tabla 4-3. Valores de la caracterización de biomasa	45
Tabla 5-3. Valores promedios de la caracterización de biochar obtenido a partir de residuos avícolas.....	48
Tabla 6-3. Valores promedios de la caracterización de biochar obtenido a partir de lodos de depuradora.....	51
Tabla 7-3. Caracterización del biochar comercial.....	56
Tabla 8-3. Valores de la prueba Mann-Whitney para la caracterización de biochar comercial vs biochar de gallinaza	57
Tabla 9-3. Valores p de la prueba T-student para biochar comercial vs biochar de gallinaza ...	58
Tabla 10-3. Valores de la prueba Mann-Whitney para la caracterización de biochar comercial vs biochar de lodos de depuradora	58
Tabla 11-3. Valores de la prueba T-student para biochar comercial vs biochar de lodos de depuradora.....	59
Tabla 12-3. Valores de correlación de variables de residuos avícolas antes y después de aplicar el tratamiento de pirólisis	60
Tabla 13-3. Valores de correlación de variables de lodos de depuradora antes y después de aplicar el tratamiento de pirólisis	61
Tabla 14-3. Prueba de los efectos inter-sujetos.....	62

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3. Contenido de NT en el biochar de residuos avícolas vs en el biochar de lodos de depuradora	63
Gráfico 2-3. Contenido de P_2O_5 en el biochar en el biochar de residuos avícolas vs en el biochar de lodos de depuradora.....	63
Gráfico 3-3. Contenido de K_2O en el biochar de residuos avícolas vs en el biochar de lodos de depuradora	64
Gráfico 4-3. Contenido de CaO en biochar de residuos avícolas vs en el biochar de lodos de depuradora	64
Gráfico 5-3. Contenido de MgO en el biochar de residuos avícolas vs en el biochar de lodos de depuradora	65
Gráfico 6-3. Contenido de SO_3 en el biochar de residuos avícolas vs en el biochar de lodos de depuradora	65
Gráfico 7-3. Contenido de MO en el biochar de residuos avícolas vs en el biochar de lodos de depuradora	66
Gráfico 8-3. Contenido de cenizas en el biochar de residuos avícolas vs en el biochar de lodos de depuradora	66
Gráfico 9-3. Contenido de humedad en el biochar de residuos avícolas vs en el biochar de lodos de depuradora	67
Gráfico 10-3. Contenido de Corg en el biochar de residuos avícolas vs en el biochar de lodos de depuradora	67
Gráfico 11-3. Relación C/N en el biochar de residuos avícolas vs en el biochar de lodos de depuradora	68
Gráfico 12-3. pH en el biochar de residuos avícolas vs en el biochar de lodos de depuradora .	68
Gráfico 13-3. Conductividad eléctrica en el biochar de residuos avícolas vs en el biochar de lodos de depuradora.....	69

LISTADO DE ANEXOS

- Anexo A.** Composición de la alimentación de gallinas de 50 semanas a fin de postura.
- Anexo B.** Composición de la alimentación de gallinas de 28 a 50 semanas.
- Anexo C.** Registro manual de variables tiempo – temperatura – presión de residuos avícolas durante el proceso de pirólisis.
- Anexo D.** Registro manual de variables tiempo – temperatura – presión de lodos de depuradora durante el proceso de pirólisis.
- Anexo E.** Informe del análisis físico-químico de la muestra de residuos avícolas.
- Anexo F.** Informe del análisis físico-químico de la muestra de lodos de depuradora.
- Anexo G.** Informe del análisis físico-químico de la muestra de biochar obtenido a partir de residuos avícolas.
- Anexo H.** Informe de resultados del análisis físico-químico de la muestra de biochar obtenido a partir de lodos de depuradora.
- Anexo I.** Fotografías.

INDICE DE ABREVIATURAS

EP EMAPAR	Empresa Público-Empresa Privada de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba
MLD1	Muestra de lodos de depuradora
MG1	Muestra de residuos avícolas (gallinaza)
MBLD1	Muestra de biochar de lodos de depuradora 1
MBLD2	Muestra de biochar de lodos de depuradora 2
MBLD3	Muestra de biochar de lodos de depuradora 3
MBG1	Muestra de biochar de residuos avícolas 1
MBG2	Muestra de biochar de residuos avícolas 2
MBG3	Muestra de biochar de residuos avícolas 3
h	Horas
NT	Nitrógeno total
p/p	Relación peso-peso
MO	Materia Orgánica
CE	Conductividad Eléctrica
Corg	Carbono Orgánico
C/N	Relación Carbono- Nitrógeno
COS	Compuestos orgánicos sintéticos
mS/cm	Milisiemens sobre centímetro
Nm	Nanómetro
IBI	International Biochar Initiative
EBF	European Biochar Foundation
BBF	British Biochar Foundation

RESUMEN

La transformación de los recursos naturales genera residuos que, por su acumulación y vertimiento incontrolado contribuyen a la aparición de vectores y enfermedades, además de impactos ambientales negativos. En este proyecto se propone evaluar la eficiencia de biochar obtenido mediante pirólisis térmica de residuos avícolas y de lodos de depuradora. Para ello, se obtuvo el biochar de residuos avícolas (MBG1, MBG2 y MBG3) y biochar de lodos de depuradora (MBLD1, MBLD2, MBLD3) en un reactor batch BAUJAHR, en condiciones de operación óptimas determinadas mediante una prueba piloto. Se operó cada muestra a una temperatura de $300^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}$ con un tiempo de residencia de 30 minutos y en una atmósfera inerte. Posteriormente, se realizó una caracterización físico-química de las muestras de biochar de residuos avícolas y muestras de biochar de lodos de depuradora. Con el Software estadístico IBM SPSS 19, se compararon los valores de la caracterización de las muestras de biochar de cada residuo frente a los parámetros de un biochar comercial pivotando cada uno de ellos para determinar su eficiencia. Se estableció que las muestras de ambos tipos de biochar son eficientes para ser utilizados como enmiendas agrícolas, debido a su contenido de nutrientes. Se recomienda aplicar estos dos tipos de biochar en cultivos, para evaluar su comportamiento en el suelo y en el crecimiento de las plantas.

Palabras clave: <CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES>, <BIOCHAR>, <RESIDUOS AVÍCOLAS>, <LODOS DE DEPURADORA>, <PIRÓLISIS>, <ENMIENDA DEL SUELO>

SUMMARY

The transformation of natural resources generates waste that, due to uncontrolled accumulation and dumping, contributes to the appearance of vectors and diseases, as well as negative environmental impacts. In this project it is proposed to evaluate the efficiency of biochar obtained by thermal pyrolysis of poultry residues and sewage sludge. For this, the biochar of poultry residues (MBG1, MBG2 and MBG3) and biochar of sewage sludge (MBLD1, MBLD2, MBLD3) was obtained in a BAUJHR batch reactor, under optimal operating conditions determined by a pilot test. Each sample was operated at a temperature of $300\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}$ with a residence time of 30 minutes and in an inert atmosphere. Subsequently, a physical-chemical characterization of the biochar samples of poultry residues and biochar samples of sewage sludge was carried out. With the statistical software IBM SPSS 19, the characterization values of the biochar samples of each residue were compared with the parameters of a commercial biochar, each one pivoting to determine its efficiency. It was established that the samples of both types of biochar are efficient to be used as agricultural amendments, due to their nutrient content. It is recommended to apply these two types of biochar in crops, to evaluate their behavior in the soil and in the growth of the plants.

KEY WORDS: < EXACT AND NATURAL SCIENCES>, <BIOCHAR>, <POULTRY RESIDUES>, <SEWAGE SLUDGE>, <PYROLYSIS>, <SOIL AMENDMENT>

INTRODUCCIÓN

Para satisfacer las diferentes necesidades, los seres humanos han recurrido al uso de recursos naturales. Éstos al ser transformados y utilizados generan residuos de origen industrial o doméstico, que sin un adecuado tratamiento pierden y disminuyen su posible valor comercial, generando impactos ambientales negativos y afecciones a la salud (Cueto, 2016, p. 5).

Balanceados EXIBAL ubicada en el barrio San Francisco de Piscín de la ciudad de Riobamba, es una de las granjas más importantes en la provincia de Chimborazo ya que, produce y comercializa balanceados y productos para la nutrición animal, alimentos inocuos más completos y nutritivos. Sin embargo, se ha convertido en una fuente de gases y residuos orgánicos. Éstos son especialmente avícolas, producidos en una cantidad de 17041 kg/mes en el corral de gallinas 50 semanas a fin de postura, que se componen de la mezcla de deyecciones, cáscaras de huevo, alimento no digerido, plumas de gallinas y cal (Lozada, 2013, p. 2).

La Planta de Tratamiento de aguas residuales “La Libertad”, pertenece a la parroquia de San Luis, de la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo, consiste en un sistema de tratamiento primario y secundario. La etapa final de este sistema dispone de piscinas de lechos de secado donde se depositan 71100 L / 6 meses de lodos depurados, que se han convertido en un problema debido a su acumulación y disposición final. Éstos generan emisiones de CO₂ y gas metano por la actividad microbiana (Galvis & Rivera, 2013, p. 17).

El problema sanitario por la mala disposición de residuos, incide en el riesgo epidemiológico que representa la acumulación y vertimiento incontrolado de residuos avícolas y lodos de depuradora en rellenos sanitarios, que tienen como resultado la degradación del suelo y aparición de vectores (moscas, roedores, bacterias, microorganismos y otros animales) y enfermedades (Escalona, 2014, pp. 271-272).

Los residuos avícolas y lodos de depuradora demandan una adecuada gestión, los cuales requieren de la aplicación de tratamientos físicos, químicos, biológicos o térmicos. Dentro de este último grupo se encuentra la pirólisis, proceso poco utilizado en el país y del cual sus derivados tanto

sólidos (biochar), líquidos (bioaceite) como gaseosos (syngas), podrían sustituir a los combustibles fósiles (Cueto, 2016, p. 17).

Por otro lado, los agricultores se han visto en la necesidad de aplicar fertilizantes inorgánicos para mejorar la productividad de los cultivos, debido a la disminución del área de tierra per cápita y la calidad del suelo. Sin embargo, el uso de estos químicos no solo mejora la fertilidad del suelo y su productividad sino que, causan deterioros y otros problemas ambientales por los compuestos que contienen (FAO; Asociación de internacional de la industria de los fertilizantes, 2002, p. 1).

ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Existen investigaciones relevantes sobre la producción y aplicación de biochar en el suelo sin embargo, otros estudios determinan la eficiencia de un biochar por las propiedades físico químicas que presenta. Entre la materia prima más utilizada con resultados más eficientes se conoce a los residuos lignocelulósicos, seguidos de los estiércoles, los lodos crudos y de otros menos comunes, como las algas.

Nieto (2015) utilizó restos de poda, lodos de depuradora, diferentes tipos de biochar a partir de estos residuos y un biochar comercial como sustitutos de la turba en la preparación de sustratos de cultivos. Los residuos y los tipos de biochar fueron aplicados en varias muestras experimentales de forma individual o mezclados en distintas proporciones con turba. El objetivo de este estudio fue determinar las características químicas, hidrofísicas y la fitotoxicidad en cultivos de *Lactuca sativa*. Se logró identificar que, con la adición de los diferentes tipos de biochar, el contenido de carbono (C) aumenta en la turba y aumenta el índice de germinación, sin embargo, no mejora las propiedades hidrofísicas. El biochar de lodos de depuradora presenta bajos valores de conductividad eléctrica y menor contenido de metales pesados. El biochar de restos de poda (75 y 50% en volumen) presenta una elevada relación C/N y aumenta la capacidad de aireación del sustrato, y el biochar comercial provoca un aumento del índice de germinación.

Song & Guo (2012, pp. 138-145) realizaron experimentos para identificar la temperatura óptima a la cual el biochar obtenido de gallinaza, presenta mayor rendimiento. La temperatura de pirólisis se estableció entre 300° a 600°C. Se identificó que el rendimiento del biochar, el contenido de nitrógeno total, carbono orgánico y la capacidad de intercambio catiónico disminuyeron a medida

que aumenta la temperatura, mientras que pH, contenido de cenizas, conductividad eléctrica y el área superficial aumentaron. La transformación de la biomasa a carbón orgánico recalcitrante, ocurrió a los 500°C, pero el 81,2% de N se perdió por la volatilización de la materia. Por lo que se determinan que, para producir biochar de gallinaza de uso agrícola, se debe seleccionar la pirólisis lenta (300°C) por el secuestro de carbono.

Hossain, et al. (2011, pp. 223-228), realizaron un estudio sobre la influencia de la temperatura de pirólisis en la producción y en las propiedades nutritivas del biochar de lodo de aguas residuales requeridas para aplicaciones agronómicas. Para la producción de biochar se utilizó un reactor tubular horizontal de lecho fijo aplicando cuatro temperaturas máximas de 300°C, 400°C, 500°C y 700°C, con atmósfera de N₂ y una velocidad de calentamiento de 10°C/min. Se caracterizaron los productos pirolizados obtenidos, determinando que la aplicación de diferentes temperaturas de pirólisis genera una gran influencia en el contenido de micronutrientes, macronutrientes, elementos traza y las propiedades agronómicas del biochar. En este estudio se comprobó que convirtiendo los lodos de aguas residuales en biochar se mejora la gestión de estos residuos y se obtiene una excelente enmienda para el suelo, ya que este producto proporciona nutrientes a las plantas.

Zhao, et al. (2013, pp. 1-9), investigaron la heterogeneidad de las propiedades y eficiencia de biochar, considerando la influencia de los dos factores principales que las determinan; la materia prima y las características de producción. Dentro de la valoración de los efectos de la materia prima, tomaron doce residuos diferentes (estiércoles animales, desechos de madera, residuos de cultivos, residuos de alimentos, aguas residuales y residuos municipales), pirolizados a 500°C, con una atmósfera de N₂ y un tiempo de residencia de 4 horas. Mientras que, para evaluar el efecto de la temperatura, usaron estiércol de cerdo y paja de trigo a cuatro temperaturas diferentes (200°C, 350°C, 500°C y 650°C), con un mismo tiempo de residencia.

Realizaron una caracterización físico-química de los 20 tipos de biochar obtenidos para confirmar hasta qué punto la materia prima y la temperatura de pirólisis afectaron las propiedades y eficiencia del biochar. Por los resultados obtenidos, indicaron que se debe realizar una buena combinación de estos dos factores y de esta manera, plantear un biochar de calidad tanto para enmienda del suelo como para aplicaciones ambientales.

Alonso-Gómez, et al. (2016, pp. 341-349), evaluaron el efecto de la aplicación como enmienda de diferentes concentraciones de biochar (0, 2, 5 y 10%) y comparando con un tratamiento de cal, en un oxisol y el efecto que produce en el crecimiento de la raíz de maíz. El biochar fue obtenido del cuesco de palma africana, a través de un reactor termoquímico a diferentes temperaturas. Realizaron análisis proximales, elementales y de poder calorífico al cuesco y al biochar obtenido, finalmente se sembró el material vegetal en el suelo. Se concluye que el uso de biochar mejora las propiedades químicas del suelo de interés agronómico, sin embargo, sugieren más investigaciones sobre las interacciones del biochar con el tiempo y nutrientes.

En la reciente investigación de Yu, et al. (2017, pp. 2-11), se utilizó micro y macroalgas como biomasa para su conversión en biochar mediante pirólisis lenta por el alto rendimiento que adquiere el biochar en su producción a estas condiciones (300°C-700°C de 10 a 60 min). Sin embargo, se identificó que el rendimiento del biochar de algas, es menor al obtenido de biomasa lignocelulósica debido a su composición química. La concentración de carbono es menor en el biochar de algas, no obstante, el contenido de N, P, K, Mg y Ca son altos. La caracterización del biochar obtenido de micro y macroalgas demuestra que puede ser usado como una enmienda del suelo para fines agrícolas por el alto contenido nutricional.

Martínez (2015) evaluó los efectos de tres enmiendas de biochar utilizando residuos agroindustriales (bagazo de agave, viruta de madera y olote) en el desarrollo de plantas de pepino (*Cucumis sativus* L.). Previamente a realizar la pirólisis lenta a cada uno de los residuos a 450°C en un reactor de tres cámaras a base de gas LP y a los materiales obtenidos como biochar, se caracterizaron las propiedades físicas y químicas más importantes.

A continuación, realizaron dos experimentos para evaluar el efecto de las mezclas en diferentes proporciones de biochar/ peatmoss (sustrato) y biochar/suelo en el desarrollo de las plantas. Los resultados con el primer experimento fueron efectivos con el biochar de agave y olote, aumentando significativamente la disponibilidad de los nutrientes del fertilizante y a la vez los macronutrientes en hojas y tallo, mejorando las características físicas de las plantas.

En el segundo experimento, los resultados demuestran que las enmiendas de biochar incrementan los cationes intercambiables. Sin embargo, no presentó un cambio significativo en la CIC, MO, agua disponible, densidad real y densidad aparente en el suelo. No obstante, al comparar el biochar de agave con los de olote y álamo se notó un desarrollo superior de *Cucumis sativus*, concluyendo que el biochar de agave fue la mejor enmienda, ya que mejoró el desarrollo de la planta de pepino y las características del suelo.

JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, se ha visto la necesidad de fomentar el uso de alternativas sostenibles que resultan de una adecuada gestión de los residuos orgánicos mediante su transformación física, biológica o termoquímica. Dentro de este último grupo, se encuentra la pirólisis de la cual sus productos pueden sustituir a las enmiendas comunes del suelo y a los combustibles fósiles tanto, sólidos, líquidos como gaseosos (Arteaga, et al., 2012, pp. 144 - 151).

La pirólisis transforma la materia prima o recursos en productos como biochar, bioaceite y gases condensables, éstos últimos a altas temperaturas (Urien, 2013). Esta técnica termoquímica no es muy utilizada en el país debido a la maquinaria que requiere o bien, al proceso. No obstante, se han realizado ensayos a escala de laboratorio con diferentes tipos de residuos, con la finalidad de conocer las condiciones de operación que requiere cada uno.

Esta técnica termoquímica estabiliza el carbono contenido en el biochar que, cuando es aplicado en el suelo permanece secuestrado por más tiempo en comparación a su forma original de carbono orgánico, como hace referencia (International Biochar Initiative IBI, 2013).

Por consecuencia, el producto sólido de la pirólisis es el biochar, un material con alto contenido de carbono, característica importante para la fertilidad del suelo, obtenido a partir de la degradación de materia prima a temperaturas relativamente bajas (250° a 450°C) (Escalante, et al., 2016, pp. 367-382), en una atmósfera inerte. La biomasa a partir de la cual se genera el biochar se recomienda ser de origen orgánico.

Por esta razón, es de gran importancia evaluar la eficiencia de biochar obtenido mediante pirólisis de residuos avícolas y lodos de depuradora, ya que puede significar una reducción del uso de fertilizantes inorgánicos mitigando las emisiones de óxido de nitrógeno y CO₂ (Lehmann, 2007, pp. 143-144).

Además, la producción de biochar a partir de lodos residuales mediante pirólisis representa una adecuada gestión ya que, reduce el volumen de residuos sólidos en comparación con los métodos actuales de disposición final, como el vertido directo al suelo como lo menciona (Hwang, et al., 2007, pp. 1913-1919) en (Hossain, et al., 2011, pp. 223-228). Además, este proceso térmico elimina organismos patógenos y contaminantes contenidos en los lodos de depuradora (Caballero, et al., 1997, pp. 433-450).

De la misma manera, la aplicación directa de la gallinaza sobre el suelo, sin un tratamiento previo, provoca la pérdida de los nutrientes volátiles como el nitrógeno amoniacal que origina contaminación ambiental. Es por ello que, la gallinaza es una buena elección para producir biochar ya que, disminuye las emisiones de gases amoniacales haciéndolo una mejor fuente de nutrientes (Steiner, 2007, pp. 105-110).

En este aspecto, la EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE BIOCHAR OBTENIDO MEDIANTE PIRÓLISIS DE RESIDUOS AVÍCOLAS, Y LODOS DE DEPURADORA, se manifiesta a modo de aporte para la obtención de biochar como alternativa sostenible de las enmiendas orgánicas convencionales, que promuevan una industria agrícola a largo plazo.

Todo esto, se torna en un aspecto enmarcado dentro de la sublínea de investigación institucional de “Tecnologías de tratamiento de recursos y residuos” y perfil profesional de los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental de la ESPOCH.

OBJETIVOS

GENERAL

Evaluar la eficiencia de biochar mediante pirólisis de residuos avícolas provenientes de la granja EXIBAL y lodos de depuradoras de la Planta de Tratamiento de aguas residuales “La Libertad”.

ESPECÍFICOS

- Establecer las condiciones operacionales del proceso de pirólisis lenta para la producción de biochar.
- Realizar la caracterización físico-química de residuos avícolas, lodos de depuradora, muestras de biochar obtenidas a partir de los residuos avícolas y muestras de biochar obtenidas de lodos de depuradora.
- Comparar la eficiencia de las muestras de biochar obtenidas a partir de residuos avícolas y las obtenidas a partir de lodos de depuradora con un biochar comercial en función del carbono orgánico, nitrógeno total, fósforo, potasio, calcio, magnesio, C/N, pH y CE en las muestras citadas.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Pirólisis

La biomasa es una de las fuentes de energía más antiguas de la humanidad, especialmente en las zonas rurales, donde a menudo es la única fuente de energía accesible y asequible (Demirbas, 2004, pp. 219-230). Es por ello, el claro interés en este tipo de tecnologías emergentes y su implantación en modelos de gestión para el aprovechamiento de residuos (Fernández, 2010).

Dentro de los procesos de valorización energética existe una gran variedad, cuya finalidad es la transformación de un residuo en un producto útil como biocombustible, calor o electricidad (Fernández, 2010) mediante métodos biológicos o bioquímicos y métodos termoquímicos.

Los biológicos se basan en el manejo de diferentes microorganismos para degradar las moléculas compuestas a unas más simples de alta densidad energética. Mientras que los métodos termoquímicos, se basan en la utilización del calor como fuente de transformación de la biomasa, proceso en el cual se desarrollan reacciones térmicas irreversibles (Wan, et al., 2009, pp. 161-167).

Según la cantidad de oxígeno presente en el proceso, se distinguen tres tipos de métodos termiquímicos: combustión, es en la que se produce una oxidación completa con abundancia de aire (Demirbas, 2004, pp. 219-230). La gasificación, se trata de la oxidación parcial con una pequeña cantidad de aire (Kirubakaran, et al., 2009, pp. 179-186) y la pirólisis, descomposición térmica en ausencia de oxígeno (Yaman, 2004, pp. 651-671).

La pirólisis es una de las alternativas para el tratamiento indirecto de los residuos sólidos urbanos más estudiada por países desarrollados. Este proceso físicoquímico complejo ofrece prometedoras ventajas aunque aún se encuentra en desarrollo tecnológico (SEDESOL, 2001, p. 101).

La pirólisis se ha transformado en una de las tecnologías de conversión termoquímica más utilizadas. Se refiere a la descomposición térmica de la biomasa en gas, líquido y biochar de pirólisis (Basu, 2013) en la ausencia total de oxígeno con una atmósfera de gas inerte (nitrógeno) (Colantoni, et al., 2016). El producto entrante se transforma generalmente, en partes iguales en un tiempo de residencia de 30 minutos, el cual ayudará a pirolizar los residuos sólidos (Castells, 2012, p. 509).

La pirólisis tiene como objetivo la práctica sanitaria y ecológica de los residuos sólidos urbanos, reduciendo su volumen al ser transformados en materiales con potencial de uso energético o materias primas para varios procesos industriales (SEDESOL, 2001, p. 101). Este tratamiento ha sido manejado durante siglos para producir carbón y de forma extensiva en la industria química (Moltó, 2007, p. 32), pues no es una de las técnicas más modernas de tratamiento de residuos según varios defensores.

Las proporciones relativas de los elementos producidos en el proceso de pirólisis dependen de la composición de los residuos, temperatura de operación y velocidad de calentamiento (Health Care Without Harm, 2002, p. 2). En el proceso se obtienen líquidos hidrocarburizados con alto potencial energético. En segundo lugar, se obtienen gases de síntesis, compuestos de hidrocarburos, óxidos de carbono e hidrógeno y, por último, biochar (residuos sólidos carbonosos) que contienen carbono fijo obtenidos a diferentes temperaturas (AGRUPAL, 2013, p. 3).

Tabla 1-1. Procesos de pirólisis y distribución de los productos generados

PROCESOS	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO DE RESIDENCIA	RENDIMIENTO MEDIO DE LOS PRODUCTOS		
			Líquido (bioaceite) (%)	Sólido (biochar) (%)	Gaseoso (syngas) (%)
Pirólisis lenta	300-800	Largo (5-30 min)	30	35	35
Pirólisis intermedia	~500	Moderado (10-20s)	50	25	25
Pirólisis rápida	~1000	Corto (<2s)	75	12	13

Fuente: (Cueto, 2016).

1.1.1. *Ventajas de la pirólisis*

La aplicación de pirólisis como tratamiento de residuos orgánicos tiene varias ventajas: puede mitigar los impactos negativos y representa una tremenda fuente de energía de bajo costo; el diseño del reactor es fácil de ampliar (Xue, et al., 2015, pp. 40-46), se evita la formación de compuestos nitrogenados, halogenados y azufrados peligrosos (depende del material que ingresa al proceso) (Steinvorth, 2014, pp. 1-4).

La pirólisis puede favorecer la producción de carbón, aceite pirolítico, gas o metanol (productos del fraccionamiento de biomasa por pirólisis) con un 95.5% de eficiencia para su consumo como fuentes de energías alternativas (Balat, et al., 2009, pp. 3147-3157). Asimismo, se maneja todo tipo de material orgánico con alto valor calórico, inclusive mezclas de residuos domésticos e industriales peligrosos; se pueden transformar, en algunos casos, en materia prima de otros procesos y permite tratar los lodos de las plantas de tratamiento (SEDESOL, 2001).

1.1.2. *Desventajas de la pirólisis*

Las desventajas que presenta la pirólisis son que: los líquidos producidos poseen un olor penetrante y típicamente son de color marrón oscuro (puede variar desde casi negro hasta verde oscuro, pasando por un marrón rojizo oscuro), dependiendo de la biomasa y de las condiciones de operación. (Noguéz, et al., 2010).

Además los gases producidos pueden ser altamente tóxicos, pues en un estudio de Alemania se determinó que las dioxinas y furanos se forman en procesos termoquímicos con niveles fundamentalmente altos de producción de residuos líquidos (Mohr, et al., 1997, pp. 1053-1064). La pirólisis requiere calor, el mismo que es generado por combustibles tradicionales o electricidad por lo que, demanda considerables cantidades de energía y una alta inversión económica en la instalación del equipo (Health Care Without Harm, 2002, p. 2).

La biomasa en los equipos de pirólisis debe ser pretratada para que sea homogénea, contenga una humedad adecuada y no afecte el rendimiento del producto. Los combustibles derivados de este proceso tienen un menor rendimiento conforme aumenta la temperatura (Arteaga, et al., 2012, p. 149) y en el país, aún no se cuenta con instalaciones a gran escala (Steinvorth, 2014, pp. 1-4).

Tabla 2-1. Comparación de rendimientos (% p/p) de las fracciones obtenidas en función del tipo de proceso termoquímico

PROCESO	RENDIMIENTOS (%)		
	LÍQUIDOS	CHAR	GAS
Pirólisis rápida	75	12	13
Pirólisis Convencional	50	20	30

Fuente: (Balat, et al., 2009)

1.1.3. Tipos de pirólisis.

1.1.3.1. Pirólisis lenta.

La pirólisis convencional o lenta se caracteriza por lapsos de calentamiento de la biomasa pausados, temperaturas bajas y largos tiempos de residencia. De acuerdo al sistema, los lapsos de calentamientos son cerca de 0.1 a 2 °C por segundo y prevalecen las temperaturas alrededor de los 250°C a 450 °C. El tiempo de residencia para la biomasa puede ser de minutos a días operando a presión atmosférica (Escalante, et al., 2016, pp. 367-382).

La pirólisis lenta es el método más adecuado para producir biochar, conservando los contenidos de carbono entre los métodos de producción seca de biochar (35%) (Netherton, 2013). Comienza a los 275°C, a los 300°C empieza la formación de productos carbonosos de alto peso molecular y es prácticamente completa a los 450°C (Miguez, 2002, pp. 19-20). El rendimiento del biochar con este proceso de pirólisis, disminuye cuando la temperatura aumenta, especialmente a los 480°C como lo menciona (Demirbas, 2004, pp. 219-230), citado en (Cueto, 2016).

Para realizar este tratamiento termoquímico se utilizan diferentes reactores continuos como tambores pirolizadores, hornos rotatorios o pirolizadores de tornillo con una mayor eficiencia energética que los hornos tradicionales (Netherton, 2013) y el calor proporcionado para la combustión parcial de la materia prima es suministrado por calentadores externos (Cueto, 2016).

1.1.3.2. Pirólisis rápida.

En la pirólisis rápida, también llamada termólisis, la materia prima se degrada a altas temperaturas (400°C a 600°C; (Miguez, 2002)) lo que implica una alimentación de biomasa finamente molida. El proceso se produce rápidamente (segundos), a presión atmosférica y sin oxígeno para la optimización y producción de bioaceites combustibles, ya que los rendimientos en peso de esta fracción son muy superiores a los que se obtienen en la pirólisis lenta (Urien, 2013).

El tratamiento de pirólisis rápida minimiza la formación de carbón del 15-25% en peso, y bajo algunas condiciones no se forma biochar (Balat, et al., 2009), produce del 60-75% en peso de bioaceite y del 10-20% en peso de gases no condensables, dependiendo de la materia prima utilizada (Mohan, et al., 2006).

La pirólisis rápida ahora es un éxito comercial para la producción de químicos y se está desarrollando activamente para producir combustibles líquidos (Dutschke, et al., 2006). El calentamiento rápido y el enfriamiento rápido producen el líquido de pirólisis, que se condensa antes de que otras reacciones descompongan especies de mayor peso molecular en productos gaseosos (Balat, et al., 2009, p. 3150).

La tecnología de pirólisis rápida puede tener costos de inversión relativamente bajos y altas eficiencias energéticas en comparación con otros procesos, especialmente a pequeña escala. La pirólisis rápida en combinación con un motor de 15 MW produce mayor eficiencia, por lo que el capital y los costos de electricidad en comparación con otros procesos de conversión térmica serían más bajos (Bramer & Brem, 2001, pp. 430-434).

1.2. Biochar

Biochar es el producto sólido poroso y carbonoso de la pirólisis de materiales orgánicos, es análogo al carbón, exclusivo cuando su producción está destinada a productos agrícolas y actividades biológicas y/o aplicaciones ambientales (Colantoni, et al., 2016, pp. 187-193). Otros autores como (Lehmann & Joseph, 2015, pp. 1-2) lo definen como un producto del calentamiento de biomasa en aire limitado a más de 250°C, también se denomina carbonización o pirólisis, diseñado para ser utilizado en la gestión ambiental.

Al biochar se lo considera como un material sólido obtenido de la conversión termoquímica de biomasa en un ambiente con oxígeno limitado (International Biochar Initiative IBI, 2012). El biocarbón se puede usar como un producto en sí mismo o como ingrediente dentro de otro producto agente para mejorar el suelo, el uso de los recursos, enmendar y/o proteger contra la contaminación ambiental y como vía para la mitigación de gases de efecto invernadero (Lehmann & Joseph, 2015)

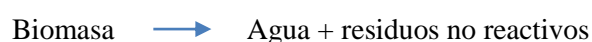
Las condiciones en las que se maneja la pirólisis y la materia prima utilizada, también afectan la composición del biochar, produciendo diferencias significativas en el contenido y disponibilidad de los nutrientes para las plantas (Gaskin, et al., 2007). El biochar más que incrementar la cantidad de nutrientes en el suelo, permite que éste almacene o retenga nutrientes, lo que podría reducir la lixiviación de los mismos (Sparkes & Stoutjesdijk, 2011, p. 54).

La estructura del biochar se deriva de la alta temperatura de pirólisis, proporcionándole una gran superficie, carácter recalcitrante (para el secuestro de carbono) y un contenido de carbono aromático, aumentando de esta manera la capacidad de adsorción (propiedad deseable para la biorremediación) (Jindo, et al., 2014, p. 6614). Por lo tanto, está definido por su alta concentración de carbono, en gran parte por anillos aromáticos, volviéndose más ordenado el apilamiento de éstos con el aumento de temperatura y por la pérdida en el proceso de H y O según (Lehmann & Joseph, 2009).

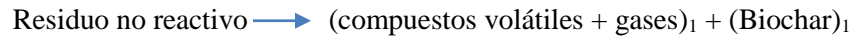
El biochar es considerado un material ecológico con diferentes funciones como la de mejorar las características del suelo, mitigar el cambio climático, intervenir en la gestión de residuos y producción de energía (Hung, et al., 2017, pp. 53-60). Si bien es claro el potencial que tiene el biochar, falta desarrollar más investigaciones para establecer mejores prácticas de gestión en la aplicación de biochar, tomando en cuenta las características específicas de cada biomasa y el uso final propuesto (Agegnehu, et al., 2017, p. 159).

1.2.1. Reacción general del biochar

Demirbas (2000), describe en el proceso de pirólisis, el cual se da en varias etapas explicadas en tres reacciones como se cita en (Urien, 2013):



En esta primera etapa se produce la evaporación del agua y una cierta volatilización de compuestos.



En la etapa intermedia se produce el carbón primario originado tras una volatilización de compuestos orgánicos y se generan gases.



Finalmente en la última etapa, el carbón primario se descompone y forma sólidos residuales ricos en carbón fijo, que al reordenarse forma el biocarbón secundario.

El rendimiento del biochar proveniente de diferentes tipos de biomasa depende de la temperatura y la velocidad de calentamiento ya que, si éstas aumentan, el rendimiento disminuye favoreciendo por otro lado, la generación de gases y carbón muy reactivo de alta porosidad, además del aumento en la producción de alquitrán (Mašek, et al., 2013).

1.2.2. Características del biochar.

Muchos países no poseen una legislación para determinar la calidad agronómica del biochar es por ello, que se requiere una normativa que regule el uso de biochar como enmienda del suelo. Sin embargo, International Biochar Initiative (IBI) y otras organizaciones han propuesto un conjunto de características que determina la calidad de un biochar (Prieto, 2016). Conjuntamente, la biomasa y las condiciones de pirólisis influyen en las propiedades del biochar producido y en su uso en la agricultura (Abenza, 2012).

La calidad de un biochar se define por los contenidos de carbono, nutrientes, pH, humedad, porosidad, tamaño de partícula y área específica. Las cenizas es una característica muy importante debido a que, cuando su contenido en el biochar es alto, como el derivado de estiércol animal, posee un menor contenido de carbono recalcitrante (Agegnehu, et al., 2017, p. 159).

Se determinó en Escalante, et al. (2016) que el biochar es un material carbonoso y poroso, de color negro, de área superficial específica, enredada y desordenada, lo que determina su elevada capacidad para retener agua, reactividad y los iones en su superficie (Kookana, et al., 2011, pp. 103-143).

1.2.3. Aplicaciones del biochar.

Las propiedades físicoquímicas, le confieren al biochar la cualidad de ser usado directamente como una enmienda del suelo para aumentar su fertilidad y consecuentemente mejorar su productividad como lo menciona (Manyá, 2012, p. 7939–7954). Sin embargo, estas propiedades pueden cambiar la disponibilidad de carbono y proveer de protección a microorganismos contra depredadores, alterando la taxonomía del suelo y la diversidad microbiana (Jindo, et al., 2014, p. 6614).

La aplicación final del biochar depende principalmente de dos factores, materia prima de la cual provenga y tipo de pirólisis que se ha empleado para su producción (Jindo, et al., 2014, p. 6614). Las propiedades físicoquímicas de diferentes tipos de biochar puede ser caracterizado como guía del lugar y el modo de aplicación en el suelo (Agegnehu, et al., 2017, pp. 156-170)

Además de ser usado como una enmienda del suelo e intervenir en el crecimiento de las plantas y restauración de especies, al actuar como una fuente de carbono orgánico, el biochar es considerado en varios métodos de mitigación del calentamiento global (Jindo, et al., 2014, p. 6614). También es utilizado para eliminar contaminantes del suelo como pesticidas, metales pesados e hidrocarburos (Jindo, et al., 2014, p. 6614) e incluso, en estudios recientes, es usado como un filtro dependiendo su porosidad (Dalahmeh, et al., 2018, p. 193).

1.2.3.1. Mejoramiento del suelo

El biochar desempeña un papel de mejoramiento de las características físicas y químicas de suelos degradados o agotados de nutrientes (Pérez, et al., 2017, p. 531). El biochar tiene la capacidad de retener agua gracias a su alta porosidad y área superficial, aumentando la porosidad de suelo para que el agua penetre mejor (Agegnehu, et al., 2017). Debido a la su capacidad de retención de agua reduce la lixiviación del nitrógeno (Nieto, 2015, p. 67).

La adición de biochar al suelo incrementa el rendimiento del cultivo, así como incrementa la microbiota con cambios significativos en la composición de la misma y en sus actividades enzimáticas los efectos biogeoquímicos del biochar en los ciclos de los elementos presentes en el suelo (Pérez, et al., 2017, p. 533)

1.2.3.2. *Remediación de metales pesados*

El biochar ha demostrado ser eficaz en la inmovilización de metales pesados, como lo demuestra (Beesley & Marmiroli, 2011, pp. 474-480) en el estudio de la capacidad del biochar para retener a As, Cd y Zn en un sedimento derivado del suelo, determinando que con la aplicación de biochar las concentraciones de los metales disminuyeron (Cd y Zn 300 veces y el As 45 veces) más no en el lixiviado. No obstante, gracias a la acción inmovilizadora del biochar, estos se liberarán en un ritmo más lento, causando un impacto menor al inicial.

La capacidad que presenta el biochar para la eliminación de metales pesados se atribuye a las interacciones electrostáticas, precipitaciones y otras reacciones (Pérez, et al., 2017, p. 533). El biochar proveniente de la pirólisis de lodos de aguas residuales desempeña un rol importante en la eliminación de contaminantes como H₂S y NO_x, según estudios realizados por (Pietrzak & Bandosz, 2007, pp. 2537-2546) (Seredych & Bandosz, 2007, p. 1786-1793) (Yuan & Bandosz, 2007, pp. 2736-2746).

Según el estudio de (Peng, et al., 2018), se analizó cualitativamente el efecto medio de la adición de biochar en la bioacumulación de elementos tóxicos, utilizando datos extraídos de estudios primarios. Los resultados mostraron que la bioacumulación de diferentes concentraciones de elementos tóxicos en tratamientos de biochar se vio afectado por las condiciones experimentales y los factores de fuerza.

1.2.3.3. *Eliminación de contaminantes orgánicos*

Diferentes estudios de investigación realizados en los últimos años, han manifestado que el biochar tiene una elevada capacidad de adsorción de los contaminantes orgánicos del suelo, agua y sedimentos. Asimismo, reduce su biodisponibilidad e impide que sustancias tóxicas se transporten a las plantas y a los organismos, incluyendo a los seres humanos ya que se transmiten mediante la cadena alimenticia (Nieto, 2015, p. 71).

En la investigación de (Yao, et al., 2012, pp. 1467-1471) se obtuvieron resultados en los que el sulfametoxazol se transportaba a través del suelo en un porcentaje de 2-14% con el suelo enmendado con biochar, en comparación con el 60% identificado en los lixiviados de los suelos que no contaban con biochar.

1.2.3.4. Filtro de aguas residuales

Otra posible aplicación del biochar es en el tratamiento de aguas residuales y la recuperación de nutrientes (Werner, et al., 2018, pp. 561-568). El biochar funciona principalmente, por el proceso de adsorción donde se da especial consideración, la porosidad y el área superficial que proporcionan varios sitios para la unión de compuestos disueltos. Estos sitios estimulan la unión de los contaminantes y compuestos no problemáticos (Dalahmeh, et al., 2018, p. 193).

En la actualidad, los tipos de biochar más estudiados como filtros, son aquellos obtenidos de la mezcla de lodos, orina y otras sustancias líquidas que al componer los dispositivos de tratamiento (filtro) son eficientes y fáciles de operar, relativamente barato y no se ve afectado por los tóxicos (Dalahmeh, et al., 2018, p. 193)

1.3. Biomasa utilizada en la pirólisis

1.3.1. Residuos ganaderos

Los residuos ganaderos se refieren a los que se generan como resultado de la crianza intensiva o extensiva de ganado en cualquiera de sus especies. Se consideran residuos ganaderos al estiércol de animales, cadáveres o partes de animales, residuos zoonos (envases de medicamentos, objetos cortantes, etc), estos últimos no son utilizados para producir biochar (Observatorio de Medio Ambiente, 2006, pág. 25).

Tanto los estiércoles de ganado bovino o porcino como los residuos de animales, han aumentado debido a la masiva producción ganadera en los últimos años. El reciclaje, reutilización o utilización de estos residuos es uno de los retos ambientales de hoy en día. Estudios realizados acerca del biochar proveniente de estiércoles de ganado para uso agrícola, ha tenido un rendimiento positivo de los cultivos. Así mismo, la pirólisis de estos residuos presenta ventajas

ambientales como una importante reducción de CO₂ (Grupo de Investigación "Valorización de Recursos", 2015).

1.3.2. Residuos agrícolas

Los residuos agrícolas tienen la presencia de una pared celular, la cual es una barrera constituida por macromoléculas de alto contenido nutricional y energético. La mayor parte de estos residuos están constituidos por celulosa, hemicelulosa, pectina y lignina, siendo inestables las proporciones en que se presenta en cada especie de planta o residuo vegetal (Red Española de Compostaje, 2014, pág. 55).

La pirólisis de residuos agrícolas implica un sin número de reacciones complejas y asociadas a la descomposición de los componentes principales de la biomasa (celulosa, hemicelulosa y lignina). Su degradación térmica empieza entre 250°C y 350°C, generando muchos compuestos volátiles como vapor de agua, hidrocarburos, alquitrán, CO₂, CO, metano, ácidos, H₂ (Red Española de Compostaje, 2014, pág. 55). Al final de las reacciones térmicas queda carbón amorfo y rígido (Novak, et al., 2009, p. 109).

1.3.3. Residuos forestales

Los residuos forestales, similares a los residuos agropecuarios (Grau & Sáenz, 2010), provienen del mantenimiento y mejora de bosques, de cortar los troncos de los árboles y de la instalación de crías animales, es decir los restos de poda que comprenden las ramas, los pies no maderables, matorrales, copas, tallos, etc. Además de las actividades citadas, la industria forestal como aserraderos, fabricantes de productos de corcho y los fabricantes de pasta de papel generan gran cantidad de estos residuos que es necesario retirar por el riesgo de propagación de plagas (Ambientum, 2015).

Los residuos forestales son los más utilizados como materia prima para la obtención de biochar, pero principalmente para la producción de energía mediante procesos térmicos como la pirólisis (Bridgwater, et al., 1999, p. 1480). Sin embargo, estos residuos son muy considerados en la producción de biochar por su fácil manejo, baja humedad y su capacidad de estabilizar el carbono en el suelo, característica fundamental para ser utilizado como una enmienda (Abenza, 2012).

1.3.4. Residuos urbanos orgánicos

Los residuos urbanos orgánicos son aquellos productos biodegradables, en un tiempo relativamente corto de plantas y animales que el hombre ha transformado, incluso los restos de poda, frutas y verduras entran en este grupo. Estos residuos son generados en la actividad doméstica y destacan por su volumen de producción (Red Española de Compostaje, 2014). El problema de la mala disposición de los residuos orgánicos urbanos radica en una fuente de malos olores y vectores por la inmediata descomposición de los citados residuos, originando enfermedades (Escalona, 2014, págs. 271-272).

Los residuos urbanos orgánicos aumentan los contenidos en macro y micronutrientes del suelo, principalmente el carbono, nitrógeno y fósforo. Por ello, en recientes investigaciones acerca de biochar, los consideran importantes como materia prima, por su alto contenido de carbono orgánico (Red Española de Compostaje, 2014), además de los lodos EDAR, los cuales presentan un alto contenido de metales que mediante la pirólisis disminuye la solubilidad de los mismos (Méndez et al, 2012, pág. 1356).

1.3.5. Residuos avícolas (gallinaza).

La gallinaza se genera en los diferentes procesos de la actividad avícola junto con pollinaza, aves muertas y residuos grasos. Representa el residuo orgánico más importante que genera la explotación avícola por su volumen y sus características físico-químicas (Rosales, et al., 2007, p. 43). Sin embargo, no se deben ignorar los inconvenientes que presenta su aplicación en estado fresco, por lo que es necesario transformar la gallinaza mediante diferentes tratamientos (Mullo, 2012, p. 3).

La gallinaza es una mezcla de heces y orina que generan las gallinas de jaula junto con una proporción no digerible de alimentos, plumas, microorganismos y cáscaras de huevo. Esta gallinaza es depositada en un material absorbente como cáscara de arroz, pasto seco o virutas, lo que se conoce como cama y permanece en el galpón durante todo el ciclo productivo (Estrada, 2005, pp. 43-48). Rodríguez (1969), considera que cada gallina produce entre 150 g/día aproximadamente.

La gallinaza consta de una parte sólida y otra líquida en una relación aproximada de 1:3. Es difícil determinar cifras exactas de la composición de gallinaza, no obstante más de la mitad contiene nitrógeno, dos quintas partes potasio y casi todo ácido fosfórico (Parra, 2008, p. 8). Este contenido depende del tipo de alimento, la cantidad de alimento desperdiciado y plumas, de la edad de las gallinas, la temperatura y de la ventilación del galpón (Estrada, 2005, pp. 43-48).

Además del contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, la gallinaza presenta valores considerables de algunos oligoelementos como calcio, magnesio y azufre, que determinan la calidad de una gallinaza utilizada tradicionalmente como abono, su composición está influenciada de la dieta y el sistema de alojamiento de las aves (Parra, 2008).

La principal fuente de abono orgánico es el estiércol que generan diferentes animales, además de un apropiado tratamiento se considera como una alternativa para aportar nutrientes esenciales a las plantas y a su vez, mejorar las características físico-químicas del suelo (Carhuacho, 2012, p. 9). Pese a ello, la calidad de la gallinaza puede verse afectada por el alto contenido de humedad y nitrógeno, que produce olores amoniacales reduciendo considerablemente sus propiedades como fertilizante del suelo (Estrada, 2005, pp. 43-48).

La cantidad de estiércol que genera la gallina en un día depende de la edad del ave debido a que las de 28 a 50 semanas generan menos excretas por su bajo consumo de alimentos en su primera etapa de vida, pues los pollos de engorde tiene una situación compleja debido a que la gallinaza es una mezcla de deyecciones y material usado como cama, del consumo de alimento y del tipo de tipo de crianza y especie (Estrada, 2005, pp. 43-48). La Tabla 3-1 presenta la caracterización de diferentes tipos de gallinaza.

Tabla 3-1. Caracterización de diferentes tipos de gallinaza

Parámetros	Gallinaza en jaula	Gallinaza en piso	Pollinaza
pH	9.0	8.0	9.50±0.2
Conductividad (mS/cm)	6.9	1.6	4.1±0.1
Humedad (%)	57.8	34.8	25.8±0.2
Cenizas (%)	23.7	14	39±3
Potasio (K ₂ O%)	1.9	0.89	2.1±0.1
Carbono orgánico (%)	19.8	24.4	23±5
Materia orgánica (%)	34.1	42.1	39.6±8
Nitrógeno (%)	3.2	2.02	2.3±0.1
Relación C/N	6.2	12.1	10.0
Fósforo (P ₂ O ₅)	7.39	3.6	4.6±0.2
C.I.C (meq/100 g de muestra)	58.2	77	-
C.I.C. (meq/100 g MO)	226	138	125.0

Fuente: (Estrada, 2005, p. 45)

La gallinaza de mejor calidad es la que proviene de las gallinas ponedoras en jaulas frente a la gallinaza de las ponedoras en piso (Pazmiño, 1981, pp. 18-23), aparte de que contiene mayor concentración de nitrógeno debido a que no están diluidas en camas como las gallinas criadas en suelo, cuyas deyecciones son mezcladas con cáscara de arroz (Gibert, 2010). Sin embargo, se debe considerar que la gallinaza seca posee un alto contenido de nutrientes debido a la composición de N, P y K y sobre todo, al tiempo y rapidez de secado (Estrada, 2005, p. 45).

La gallinaza es un residuo de consideración, pues interviene en varios procesos. Como fertilizante principalmente, por su aporte al suelo de materia orgánica y por ser rica en nutrientes para la planta. Interviene en la producción de biogás por su producción de CH₄ y CO₂ al ser fermentada; también, es considerada como alimento para ganado por su alto valor de N e interviene en el proceso de compostaje, más usado en la actualidad, por generar un producto de fácil manejo que mejora la productividad y fertilidad de los suelos agrícolas (Estrada, 2005, p. 46).

1.3.6. *Lodos de depuradora de aguas residuales urbanas.*

Cualquier industria y población genera residuos y aguas residuales, por lo que se requiere realizar un tratamiento adecuado para su posterior reutilización, rigiéndose de normas y leyes de gestión ambiental. La acumulación y estancamiento de agua residual crea descomposición de la materia orgánica que contiene, produciendo grandes cantidades de gases fétidos (Castro, 2017, p. 11).

Los lodos o fangos son los subproductos provenientes de los procesos de tratamiento de las plantas depuradoras de aguas residuales, el volumen de producción es grande debido principalmente al tiempo de conservación. Si no se les da el manejo adecuado pueden convertirse en un grave problema, ya que su volumen incrementa con el crecimiento de la población (Torres, 2002, p. 7).

Generalmente, las aguas residuales contienen alrededor de un 99.9% de agua y el resto está compuesto por residuos sólidos. Estos últimos están formados por materia mineral, que provienen de la calidad de agua de abastecimiento conjuntamente con subproductos desechados durante la vida cotidiana de la población y de materia orgánica que resultan de la actividad humana (proteínas, grasas, etc.) (Rojas, 2002, p. 5). La Tabla 4-1 presenta la caracterización físicoquímica de dos muestras de lodos de depuradora.

Tabla 4-1. Principales propiedades químicas de dos muestras lodos de depuradora

Material	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)	P (mg/kg)	K	Na	Mg	Ca	C _T (%peso)	N _T (%peso)	C/N (%peso)
				(mmol ₍₊₎ /100g)						
L1*	6.35a	5290 ^a	583.58a	1.45a	8.03a	31.26a	10.76a	15.3a	1.569a	9.8a
L2**	6.14b	6440b	442.28b	1.11a	9.04a	28.56a	29.39b	31.9b	4.365b	7.3b

Los valores que poseen la misma letra en la misma columna no son significativamente diferentes en un nivel de 95% según el test de Duncan

* muestra de lodos 1

** muestra de lodos 2

Fuente: (Nieto, 2015, p. 169)

El tratamiento de los lodos constituye la parte fundamental de una planta de tratamiento de aguas residuales (Torres, 2002, p. 8), generalmente constan de tratamientos primarios, secundarios, terciarios, desinfección y disposición final de los lodos residuales (Rojas, 2002, pp. 11-12). Los tratamientos mencionados anteriormente son necesarios debido a que el agua residual contiene microorganismos patógenos, nutrientes que podrían estimular la eutrofización, así como también compuestos tóxicos (Castro, 2017, p. 11).

Los tratamientos primarios tienen como objetivo remover el material flotante de las aguas residuales así como también una parte de la carga orgánica (DBO y sólidos suspendidos), entre algunos tipos de tratamientos primarios se encuentran la sedimentación primaria, coagulación, floculación, filtración, precipitación química (Rojas, 2002, pp. 12-13).

Los tratamientos secundarios reducen los compuestos orgánicos, dentro de estos intervienen los procesos biológicos como los lodos activados, lechos de secado que permiten deshidratar los lodos mediante un proceso natural, en el que se remueve el agua mediante evaporación y filtración a través de un medio de drenaje de fondo, siendo innecesario la adición de químicos o algún otro agente ya que se trata de un secado lento (CEPIS-OPS/OMS, 1995, p. 47).

La función de los tratamientos terciarios es la de completar los procesos anteriores con el objetivo de que los efluentes se descarguen más puros, es decir, con menos carga contaminante. Estos tratamientos se conforman de procesos físicos, químicos y biológicos (Rojas, 2002, p. 14). La desinfección es el proceso mediante el cual se trata de eliminar los agentes patógenos presentes en los lodos, no todos los países contemplan en su legislación este proceso pero es necesario para evitar problemas sanitarios (Torres, 2002, p. 9).

Para la disposición final, los lodos deben ser preparados debido a la materia orgánica putrescible que contienen, por lo que no pueden ser colocados en el suelo o libremente en el ambiente (Rojas, 2002, pp. 15-16), con los tratamientos mencionados anteriormente pueden ser acondicionados y mejorado sus condiciones para poder ser utilizados ya sea como abono o sometido a otro proceso.

Los lodos de depuradora son una fuente potencial de materia orgánica, por lo que su uso como abono se ha incrementado en la actualidad. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que si el agua que llega a la PTAR no es solo urbana, sino que proviene también de la industria, es muy probable que contenga metales pesados quedando en los lodos, y si en estos casos se los utiliza como abonos provocan intoxicación en las plantas y suelos (Barba, 2002, p. 44).

1.4. Eficiencia del biochar

Según varios autores, la determinación de la eficiencia de un biochar se realiza en base a una caracterización físico-química para conocer su estado y su posible uso como una enmienda del suelo.

1.4.1. *Carbono orgánico.*

El carbono orgánico es de intercambio rápido y está presente en todos los compuestos orgánicos, incluyendo el suelo (Gardi, et al., 2014). Martínez, et al. (2008) mencionan que el carbono orgánico se encuentra en el suelo en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al C elemental.

El carbón orgánico es esencial para la actividad biológica del suelo, debido a que provee recursos energéticos a los organismos, actúa en la agregación de las partículas del suelo (Follet, 1985, p. 533), mientras mayor es el contenido de COS lábil, mayor es el tamaño de los agregados (Buyanovsky, et al., 1994). También afecta la reacción del suelo (pH) debido a los varios grupos activos que aportan grados de acidez, a las bases de cambio y al contenido de nitrógeno presente en los residuos orgánicos aportados al suelo (Aguilera, 2000).

Para la determinación de carbono orgánico de las muestras, se utilizó el Método Gravimétrico (oxidación con dicromato de potasio), cuyo documento de referencia es el “Boletín Oficial de España (1991), Extracto húmico total, ácidos húmicos, valoración de carbono orgánico”, que se expresa en porcentaje p/p.

1.4.2. *Nitrógeno total.*

El nitrógeno es un macronutriente, debido a su importancia en las plantas, ya que influye en el rendimiento y calidad del producto obtenido en la actividad agropecuaria (Perdono & Barbazán, 2001). Es la cantidad de nitrógeno presente en una muestra de fertilizante, que puede llegar al suelo con los aportes de materia orgánica y a la fijación bacteriana a partir del aire. Representa una fuente a largo plazo para las plantas pues, el nitrógeno se mineraliza lentamente (Arroyo, 2009).

Para la determinación de nitrógeno total en las muestras se utilizó el Método Kjeldahl, cuyo documento de referencia se describe “Method 993.13 (2005) de AOAC, Official Methods of Analysis, 18th Edition”. Se expresa en %p/p.

1.4.3. Fósforo total.

El fósforo (P) es un nutriente esencial, comúnmente deficiente en la producción agrícola y los cultivos lo requieren en cantidades relativamente grandes, por lo cual se deben aplicar fertilizantes ricos en P y se pueden clasificar en función de la solubilidad. La concentración total de P en los cultivos varía de 0.1 a 0.5 % (International Plant Nutrition Institute IPNI, 2017, p. 83).

Para la determinación del fósforo total, proveniente de fosfatos, se utilizó el Método de Espectrofotometría UV-VIS descrito en “Method 963.03, 960.02, 993.3, INCOTEC NTC 234 (2005) en AOAC, Official Methods of Analysis, 18th Edition”; expresado en %p/p de las muestras.

1.4.4. Potasio.

El potasio es uno de los nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal y es necesario en la agricultura actual de altos rendimientos (Imas, 2005, p. 1). Se clasifica como el tercer nutriente primario junto con el nitrógeno y el fósforo, por lo que en una bolsa de fertilizante (por ejemplo, 20-10-20), el tercer número indicará el porcentaje de potasio en peso que viene en el fertilizante. Técnicamente, este número se refiere al K_2O , que es un 83 % de K elemental en peso (Bloodnick, 2017).

Se suministra sobre todo en forma de sulfato potásico soluble en agua e igualmente disponible para las plantas. Las raíces absorben el potasio de la solución del suelo en forma de K^+ en grandes cantidades, igual o incluso más que el nitrógeno (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1989, p. 43).

Para la determinación de potasio, expresado en %p/p de las muestras, se utilizó el Método Espectrofotometría de absorción atómica en llama descrito “Method 965.09/ 945.04, INCOTEC NTC 1369 (2005) en AOAC, Official Methods of Analysis, 18th Edition”.

1.4.5. Calcio.

El calcio es un macro elemento esencial para el suelo (TETRA Technologies, Inc, 2004), pues ayuda a reducir la acidez cuando está presente como carbonato de calcio (Arroyo, 2009). Además, es un

nutriente secundario, cuya función es ayudar en el crecimiento y nutrición de la planta. El calcio como enmienda del suelo ayuda a mantener un balance químico en la tierra, reduce la salinidad del suelo y mejora la filtración del agua (TETRA Technologies, Inc, 2004).

Para la determinación del calcio de las muestras se utilizó el Método de espectrofotometría de absorción atómica en llama, cuyo documento de referencia se describe en “Method 965.09/945.04, INCOTEC NTC 1369 (2005) de AOAC, Official Methods of Analysis, 18th Edition”. Los resultados se expresan en % p/p.

1.4.6. *Magnesio.*

El magnesio está ampliamente repartido en el suelo, ya que es un elemento esencial para las plantas por formar parte de la clorofila (Soria, et al., 2013). Promueve la absorción y transporte del fósforo, debido a la presencia del magnesio dentro de la planta que ayuda a la asimilación y transporte de compuestos fosfatados. Asimismo, interviene en todas las reacciones de la planta, por su papel como activador enzimático (Kass, 1996).

Para la determinación del magnesio de las muestras se utilizó el Método de Espectrofotometría de absorción atómica en llama, cuyo documento de referencia se describe en “Method 965.09/945.04, INCOTEC NTC 1369 (2005) de AOAC, Official Methods of Analysis, 18th Edition”. Este elemento usualmente se expresa en mili equivalentes por 100 cc (meq/100 cc).

1.4.7. *Azufre.*

El azufre es un nutriente secundario, el cual se puede encontrar en el suelo de forma orgánica, que al transformarse en ion sulfato, se mueve con mayor facilidad en el suelo y, la otra forma es la mineral (sulfato y sulfuro) (Oliveira, et al., 2006, p. 49). Es por ello, que se acumula en el suelo a partir de residuos vegetales y, en menor proporción de residuos animales (Navarro & Navarro, 2013, p. 349).

La reducción de azufre bajo la forma de sulfatos es similar a la desnitrificación (Navarro & Navarro, 2013). Estos nutrientes están estrechamente relacionados debido a que, una deficiencia del contenido de azufre en el suelo provoca la disminución de fijación de N atmosférico y

consecuentemente una disminución de nitratos. Esto es un problema para la planta pues, presentaría una alteración en los procesos metabólicos y en la síntesis de proteínas. Por ello, es importante considerar la asimilación de azufre que depende de la relación N/S cuyos valores oscilan entre 10 y 15 (Oliveira, et al., 2006).

Para la determinación del azufre de las muestras se utilizó de Método Gravimétrico, cuyo documento de referencia es en “Method 980.02 (2005) de AOAC, Official Methods of Analysis, 18th Edition”. Generalmente, se lo expresa en porcentaje relación peso/peso de la muestra en base seca.

1.4.8. *Humedad.*

El contenido de un sólido tiende a disminuir cuando la temperatura aumenta y según la cantidad de agua retenida en la muestra existen diferencias entre las magnitudes de estos efectos y la velocidad en que estos se producen (Laboratorio - Mecánica de Suelos, 2006, p. 1).

Antes de realizar cualquier análisis se debe realizar algún tipo de tratamiento previo para identificar la presencia de agua. Eliminar la humedad de las muestras sólidas antes de pesar es una práctica común, otra alternativa es determinar el contenido de agua cuando se pesan las muestras para el análisis y poder referir los resultados en base seca (Skoog, et al., 2001).

Para la determinación de la humedad en las muestras se utilizó el Método Gravimétrico, cuyo documento de referencia suscribe en el “Method 950.01, INCOTEC NTC 5167 (2005) de AOAC, Official Methods of Analysis, 18th Edition”; expresado en %p/p.

1.4.9. *Materia orgánica.*

La materia orgánica son los compuestos orgánicos que componen la muestra, como carbohidratos, ligninas y proteínas. Estas especies químicas contienen carbono en su estructura, y al entrar en contacto con el suelo ayudan a almacenar nutrientes y prevenir la erosión (Pascual & Venegas, 2016, p. 3). Un mayor contenido de materia orgánica en el suelo favorece a la formación de agregados y un adecuado sistema de poros mejora la infiltración y la circulación del agua (Ghisolfi, 2011, p. 18).

Para la determinación de la materia orgánica en las muestras de fertilizantes sólidas se utilizó el Método Gravimétrico (oxidación con dicromato de potasio), cuyo documento de referencia se describe en “Testing Methods for Fertilizers (2013). Incorporate Administrative Agency Food and Agriculture Materials Inspection Center, Japan”. Usualmente, los resultados de MO son expresados en porcentaje relación p/p.

1.4.10. C/N.

El carbono y el nitrógeno son los dos constituyentes básicos de la materia orgánica (Arroyo, 2009). Es importante realizar una mezcla adecuada de los materiales orgánicos que serán aplicados al suelo dependiendo de su contenido de C y N para obtener una relación C/N equilibrada (Arroyo, 2009).

Tanto el carbono como el nitrógeno son nutrientes esenciales para las plantas, por lo que deben estar en proporciones eficaces. La totalidad del nitrógeno orgánico en un residuo orgánico es biodegradable y, por lo tanto disponible. Mientras que una gran parte del carbono orgánico se engloba en compuestos no biodegradables, que no están biodisponibles en la agricultura (Ambientum, 2015).

Para la determinación de relación C/N de las muestras se utilizó el Método Gravimétrico, el cual se obtuvo mediante cálculos de los análisis de nitrógeno total y carbono orgánico. Se expresa generalmente en % p/p.

1.4.11. Cenizas.

Este residuo inorgánico queda tras eliminar totalmente los compuestos orgánicos existentes en la muestra, por volatilización y por la interacción entre los compuestos químicos. La importancia de su determinación radica en que son parte de un análisis próximo a una evaluación nutricional del residuo (Pilco, 2014).

Para la determinación de cenizas en las muestras se utilizó el Método Gravimétrico, cuyo documento de referencia descrito en “Testing Methods for Fertilizers (2013). Incorporate

Administrative Agency Food and Agriculture Materials Inspection Center, Japan”. La cantidad de cenizas se las expresa en % p/p.

1.4.12. pH.

El pH es el principal indicador de la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Suquilanda, 2017, p. 33) debido a que si un suelo contiene mucha acidez, el calcio y demás nutrientes no podrán ser absorbidos (Fundación Hogares Juveniles Campesinos, 2004, p. 39). Además que influye en la movilidad y disponibilidad de contaminantes inorgánicos presentes en el suelo (Kreuter, 2005, p. 63).

Para la determinación de pH en las muestras se utilizó el Método del pHímetro, cuyo documento de referencia suscribe en “Testing Methods for Fertilizers (2013). Incorporate Administrative Agency Food and Agriculture Materials Inspection Center, Japan. INCOTEC NTC 5527”.

1.4.13. Conductividad eléctrica.

El contenido de sales determina la calidad y fertilidad de un suelo agrícola. La manera en la que se mide dicha salinidad en los suelos es mediante la conductividad eléctrica, que se define como el potencial para conducir corriente eléctrica al aprovechar las propiedades de las sales (Intagri S. C., 2001). Por lo tanto, la capacidad de los electrones de desplazarse en el agua de un grupo a otro de electrodos viene dada por los iones disueltos en el medio (Klaassen, 2018).

Para la determinación de conductividad eléctrica de las muestras se utilizó el Método del conductímetro cuya referencia se describe en “Testing Methods for Fertilizers (2013). Incorporate Administrative Agency Food and Agriculture Materials Inspection Center, Japan. INCOTEC NTC 5527”. La unidad utiliza de forma generalizada en Europa es mS/cm (1:100) como guía de la concentración de nutrientes en agua (Intagri S. C., 2001).

1.4.14. Cobre.

El cobre es un nutriente importante en el suelo, pues las plantas con deficiencia de este elemento, presentan marchitamiento en hojas de 28 a 50 semanas, por lo que se considera esencial en la

fotosíntesis. Asimismo, su disponibilidad está influenciada por el pH, que al ser básico, el cobre precipita y forma sustancias no disponibles para las plantas (Kreuter, 2005, p. 63).

Para la determinación de cobre en las muestras se utilizó el Método de espectrofotometría de absorción atómica en llama, cuyo documento de referencia descrito en “Method 965.09/ 945.04, INCOTEC NTC 1369 (2005) de AOAC, Official Methods of Analysis, 18th Edition”. El contenido de cobre se expresa en % p/p.

1.4.15. Zinc.

El zinc constituye uno de los micronutrientes más deficientes del mundo, debido a su reactividad no se encuentra libre en la naturaleza (Vega & Vélez, 2011, p. 28), su deficiencia en los cultivos puede reducir el rendimiento de los mismos sin manifestar algún síntoma. Es un elemento de poca movilidad en la planta, sin embargo realiza varias funciones críticas (Intagri S. C., 2001).

La disponibilidad del zinc en el suelo se reduce cuando el pH se eleva, por lo que generalmente los suelos alcalinos presentan mayor deficiencia de zinc. La estructura y funcionalidad de muchas enzimas dependen de la presencia de Zn en la planta (Intagri S. C., 2001). Gracias a su comportamiento anfótero puede manifestar su fuerte preferencia por reaccionar tanto con compuestos ácidos como básicos (Vega & Vélez, 2011, p. 28).

Para la determinación de zinc en las muestras se utilizó el Método espectrofotometría de absorción atómica en llama, cuyo documento de referencia descrito “Method 965.09/ 945.04, INCOTEC NTC 1369 (2005) en AOAC, Official Methods of Analysis, 18th Edition”. La cantidad de zinc se expresa en % p/p.

1.5. Factores que influyen en el proceso de pirólisis

La determinación de la utilidad de un biochar, es decir la eficiencia de los productos del proceso de pirólisis, está influenciado por variables como la temperatura, tiempo de residencia, composición del sustrato, intervalo de calentamiento y presión.

1.5.1. *Temperatura.*

La temperatura a la que se produce el biochar tiene un efecto significativo sobre las propiedades fisicoquímicas. A temperaturas bajas se producen biochars de pH bajo (ácido) y pueden ser adecuados para mejorar la fertilidad de suelos de pH alto (alcalino) en regiones áridas (Colantoni, et al., 2016, pp. 187-193).

Cuando la temperatura de pirólisis es moderadamente alta (450-550°C), los volátiles que surgen del proceso se pueden condensar para convertirse un producto líquido, llamado aceite de pirólisis (Xue, et al., 2015, p. 40), disminuyendo la producción de sólido e incrementando la fracción gaseosa. La concentración de nitrógeno disminuye y la de los nutrientes como Ca, Mg, Fe, S, Cu y Zn aumenta con una temperatura más elevada (Nieto, 2015, pp. 15-16).

1.5.2. *Tiempo de residencia.*

La temperatura de pirólisis y el tiempo de residencia son factores que están íntimamente relacionados para determinar el rendimiento del biochar. (Di Blasi, et al., 1999, pp. 2216-2224) ha establecido que, a medida que aumenta la temperatura, por tanto el tiempo, el rendimiento del biochar disminuye. Sin embargo varios autores consideran que el tiempo varía según el tipo de pirólisis.

En la pirólisis lenta, la operación se da en largos tiempos de residencia a temperaturas de entre 300°C y 800°C, reduciendo el rendimiento del bio-aceite. En este tipo de pirólisis, el rendimiento disminuye a medida que aumenta la temperatura especialmente a los 480°C. A una temperatura máxima (300°C -800°C), el rendimiento y capacidad de retención de agua del biochar decrecen y el contenido de CO en el gas aumenta como lo menciona (Antal & Grønli, 2003, p. 1619–1640).

En la pirólisis intermedia el tiempo de pirólisis es moderado a una temperatura alrededor de 500°C y, junto con la pirólisis lenta contribuyen al rendimiento del biochar en comparación con la pirólisis rápida. Sin embargo, en la pirólisis rápida los tiempos de residencia son muy cortos (varios segundos) y a altas temperaturas ($\approx 1000^\circ\text{C}$) produciendo un mayor rendimiento del bio-aceite (Cueto, 2016, p. 39).

1.5.3. Composición del sustrato.

La composición de la biomasa juega un papel trascendente en la composición química del biochar (Nieto, 2015), por lo que hay que empezar con la caracterización de la biomasa de donde proviene el biochar y bajo qué condiciones fue producido (International Biochar Initiative, 2010). Ésto tiene efecto en el comportamiento del biochar como enmienda orgánica para los suelos y como sumidero de carbono (Alonso-Gómez, et al., 2016, pp. 341-349).

La biomasa destinada a la pirólisis puede tener diferentes orígenes, los materiales más habituales son de la agricultura (biomasa de diferentes cultivos, entre otros), ganadería (estiércol de animales), sector forestal (restos de poda), residuos orgánicos urbanos y lodos de depuradora (Abenza, 2012, p. 22).

El potencial del secuestro de carbono depende tanto de la biomasa de origen como de la temperatura de tratamiento (Nieto, 2015), que lo hace más estable. El contenido de cenizas varía en función de la materia prima e influye en el rendimiento del biochar y su grado de aromaticidad (Demirbas, 2004, pp. 219-230).

1.5.4. Intervalo de calentamiento.

El intervalo de calentamiento y la temperatura son los factores más importantes que determinan la retención de nutrientes desde la biomasa hasta el carbón (Netherton, 2013). El intervalo de calentamiento significa el aumento de temperatura por segundo y está en función de las dimensiones de la materia prima y el tipo de equipo de pirólisis empleado (Escalante, et al., 2016), lo que afecta la velocidad, grado, secuencia de las reacciones de pirólisis y la composición de los productos.

Las reacciones ocurren en una amplia gama de temperaturas; por lo tanto, los productos formados al principio tienden a experimentar una transformación adicional y su descomposición en una serie de reacciones consecutivas. Cuanto más alta sea la velocidad de calentamiento, se obtiene una mayor producción de líquidos y gases y por ende una disminución de residuo sólido (Nieto, 2015, p. 18).

Escalante, et al. (2016), establecen que este parámetro es importante porque modifica su posible valor para la agricultura, aún cuando no existe un consenso sobre cuál sería la mejor materia prima en términos de su uso en el suelo y de la producción de energía. La velocidad de difusión térmica dentro de una partícula disminuye con el incremento de su tamaño, lo que resulta en un intervalo de calentamiento más bajo.

1.5.5. *Presión.*

El efecto de la presión sobre el proceso de pirólisis y las características del biochar cuando ésta aumenta, se obtiene un rendimiento elevado de biochar con un contenido relativamente alto de carbono, al mismo tiempo que se genera una fracción volátil que es adecuada para su aprovechamiento térmico (Nieto, 2015, p. 75), este aumento de temperatura se produce porque las reacciones secundarias asimismo aumentan en la pirólisis, produciéndose más biocarbón.

No existe mucha información en la que se indique que la presión está directamente comprometida con la estabilidad del biochar. Melligan, et al. (2011) realizaron un estudio en donde obtuvo varios tipos de biochar de plantas herbáceas y se observó cuando la presión aumentó hasta 377 psi, junto con esto el contenido de carbono aromático aumentó y por lo que determinó que la estabilidad del biocarbón se incrementó.

CAPÍTULO II

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Metodología

2.1.1. Métodos.

2.1.1.1. Muestreo.

Residuos avícolas

Los residuos avícolas fueron recolectados en Balanceados Exibal de la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo, Ecuador. Los residuos recogidos fueron del corral de gallinas 50 semanas a fin de postura, de donde se tomaron pequeñas muestras de cada cama y se mezcló hasta obtener una muestra representativa. Posterior a ello, se realizó el método del cuarteo (Ministerio del Ambiente, 2014, p. 18) para obtener la muestra necesaria, homogenizando luego de cada cuarteo (3 en total). Después de este proceso se colocó la muestra en un balde para transportarla al laboratorio.

Lodos de depuradora

Los lodos residuales fueron recolectados en la planta de tratamientos “La Libertad”, en la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo, Ecuador. Se recogieron pequeñas muestras de cada piscina de lechos de secado y se mezclaron hasta obtener una muestra representativa sobre un plástico negro para su secado al sol durante 4 horas. Después se realizó el método del cuarteo (Ministerio del Ambiente, 2014, p. 18) para obtener la muestra necesaria homogenizando luego de cada cuarteo (3 en total). Inmediatamente se colocó en bandejas para llevarlas a la estufa del laboratorio.

2.1.1.2. Preparación de las muestras.

Residuos avícolas

La muestra de residuos avícolas se colocó sobre un plástico negro y se dejó secar durante 2 horas al aire libre. Se secó en una estufa durante 24 horas a 110°C. Luego se realizó una molienda de la muestra con un molino manual, se tamizó (diámetro de malla de 0,0167 in = 0,425 mm), eliminando materiales que podrían afectar el proceso. Después del tamizado, se almacenó las muestras en fundas Ziploc con su respectiva etiqueta.

Lodos de depuradora

La muestra de lodos de depuradora se dejó secar durante 4 horas al aire libre. Se recogió la muestra en bandejas de aluminio. Se secó en la estufa durante 24 horas a 110°C. Los grumos contenidos en la muestra se hicieron polvo, se tamizó la muestra (diámetro de malla de 0,331 in = 8,4 mm) y se almacenó en fundas Ziploc con su respectiva etiqueta.

2.1.1.3. Producción de biochar mediante pirólisis.

Para la producción de biochar se utilizó el reactor batch BAUJAHR de los Laboratorios de Ingeniería Química de la Escuela Superior Politécnica Nacional. La capacidad del reactor es de 1 kg, sin embargo la generación de gases depende de la materia de alimentación, por ello se insertó menos cantidad de muestra de la capacidad del equipo. Las muestras de los dos tipos de biomasa fueron introducidas en igual proporción.

Se realizó una prueba piloto para determinar la influencia de distintas variables como temperaturas (calentamiento y enfriamiento), presión, tiempo de residencia y cantidad de biomasa. La pirólisis se da en un ambiente inerte, por lo que se utilizó nitrógeno gaseoso para evacuar el oxígeno en el reactor una vez que éste ha sido completamente cerrado.

La biomasa tanto de residuos avícolas como de lodos de depuradora, fue transformada mediante pirólisis lenta a $300^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ con un tiempo de residencia de 30 minutos. Se realizaron 3 pruebas con residuos avícolas, de los cuales se obtuvieron 3 muestras de biochar (MBG1, MBG2 y MBG3). Asimismo, se obtuvieron 3 muestras de biochar de lodos de depuradora (MBLD1, MBLD2 y MBLD3).

2.1.1.4. Caracterización de la biomasa y del biochar

Para conocer las características que presenta la biomasa y el biochar se analizaron los siguientes parámetros: carbono orgánico, nitrógeno total, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, humedad, materia orgánica, cenizas, pH, conductividad eléctrica, cobre y zinc (éstas dos últimas solamente para lodos de depuradora).

Dicha caracterización físico-química de las muestras de residuos avícolas (MG1), lodos de depuradora (MLD1), muestras de biochar de residuos avícolas (MBG1, MBG2, MBG3) y muestras de biochar de lodos de depuradora (MBLD1, MBLD2, MBLD3), fue realizada en los Laboratorios Calidad de Fertilizantes de Agrocalidad Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario.

2.1.1.5. Determinación de la eficiencia de biochar

Para determinar la utilidad del biochar y por lo tanto, su eficiencia se realizó una validación externa mediante un análisis estadístico de los parámetros de un biochar comercial obtenido a partir de la carbonización de madera de encina con los biochars obtenidos a partir de residuos avícolas y los obtenidos a partir de lodos de depuradora.

2.1.2. Técnicas.

Tabla 1-2. Métodos y Técnicas para la determinación físico-química de la materia prima y el biochar

PÁRAMETRO	MÉTODO	TÉCNICA
Carbono Orgánico	Oxidación con dicromato de potasio Gravimétrico	Como se describe en un apartado en “Boletín Oficial de España (1991), Extracto húmico total, ácidos húmicos, valoración de carbono orgánico”
Nitrógeno total	Kjeldahl	En base a lo descrito en Method 993.13 (2005) de AOAC, Official Methods of Analysis, 18th Edition.
Fósforo	Espectrofotometría UV-VIS	Method 963.03, 960.02, 993.3, INCOTEC NTC 234 (2005) en AOAC, Official Methods of Analysis, 18th Edition
Potasio	Espectrofotometría de Absorción Atómica en llama	Method 965.09/ 945.04, INCOTEC NTC 1369 (2005) en AOAC, Official Methods of Analysis, 18th Edition
Calcio	Espectrofotometría de Absorción Atómica en llama	Method 965.09/ 945.04, INCOTEC NTC 1369 (2005) de AOAC, Official Methods of Analysis, 18th Edition
Magnesio	Espectrofotometría de Absorción Atómica en llama	Method 965.09/ 945.04, INCOTEC NTC 1369 (2005) de AOAC, Official Methods of Analysis, 18th Edition
Azufre	Gravimétrico	Method 980.02 (2005) de AOAC, Official Methods of Analysis, 18th Edition
Humedad	Gravimétrico	Method 950.01, INCOTEC NTC 5167 (2005) de AOAC, Official Methods of Analysis, 18th Edition
Materia Orgánica	Oxidación con dicromato de potasio Gravimétrico	En base a lo descrito en Testing Methods for Fertilizers (2013). Incorporate Administrative Agency Food and Agriculture Materials Inspection Center, Japan
Relación C/N	Gravimétrico	Mediante cálculo de los valores obtenidos en la determinación de Nitrógeno Total y Carbono Orgánico.
Cenizas	Gravimétrico	En base a lo descrito en Testing Methods for Fertilizers (2013). Incorporate Administrative Agency Food and Agriculture Materials Inspection Center, Japan
pH	Método del pHímetro	En base a lo descrito en Testing Methods for Fertilizers (2013). Incorporate Administrative Agency Food and Agriculture Materials Inspection Center, Japan. INCOTEC NTC 5527

Conductividad Eléctrica	Método del Conductímetro	En base a lo descrito en Testing Methods for Fertilizers (2013). Incorporate Administrative Agency Food and Agriculture Materials Inspection Center, Japan. INCOTEC NTC 5527
Cobre	Espectrofotometría de Absorción Atómica en llama	Method 965.09/ 945.04, INCOTEC NTC 1369 (2005) de AOAC, Official Methods of Analysis, 18th Edition
Zinc	Espectrofotometría de Absorción Atómica en llama	Method 965.09/ 945.04, INCOTEC NTC 1369 (2005) en AOAC, Official Methods of Analysis, 18th Edition

Realizado por: Fernández, V. y López, A. (2018)

2.1.3. *Materiales, Equipos y Reactivos.*

2.1.3.1. *Materiales Experimentales.*

Los materiales y equipos utilizados para el muestreo, preparación de la muestra y producción de biochar se detallan en la Tabla 2-2 y en la Tabla 3-2.

Tabla 2-2. Materiales Experimentales

ETAPA DEL PROYECTO	MATERIALES	CANTIDAD
MUESTREO	Guantes industriales	3 pares
	Plástico negro	4 metros
	Balde	2
	Fundas de basura	6
	Pala punta cuadrada	1
	Mascarilla	4
	Cofia	2
PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS	Bandejas de aluminio	8
	Guantes industriales	3 pares
	Guantes de nitrilo	4 pares
	Mascarilla	2
	Mandil	2
	Fundas Ziploc	8
PRODUCCIÓN DE BIOCHAR	Guantes industriales	2 pares
	Guantes de nitrilo	10 pares
	Bandejas pequeñas	6

Fundas Ziploc	6
Marcador	1
Etiquetas	8
Toallas absorbentes	1 rollo
Waipes	15
Teflón	1 rollo
Cuchara de palo	2
Trapos	4
Mascarilla	8
Mandil	2
Llave de tubo	2
Estropajos	3

Realizado por: Fernández, V. y López, A. (2018)

Tabla 3-2. Equipos utilizados

ETAPA DEL PROYECTO	MATERIALES	CANTIDAD
MUESTREO	Balanza portátil	1
	Cámara fotográfica	2
PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS	Balanza analítica	2
	Estufa	2
	Molino manual	1
PRODUCCIÓN DE BIOCHAR	Reactor batch BAUJAHR	1
	Balanza analítica	1

Realizado por: Fernández, V. y López, A. (2018)

2.1.3.2. Materiales de laboratorio.

Tabla 4-2. Materiales de laboratorio

MATERIALES	SUSTANCIAS
Espátula	Gas Nitrógeno
Piceta	Tiñer

Realizado por: Fernández, V. y López, A. (2018)

2.2. Diseño de la investigación

2.2.1. *Diseño experimental.*

El estudio de la “Evaluación de la eficiencia de biochar obtenido mediante pirólisis de residuos avícolas, y lodos de depuradora” está sujeta a la manipulación de variables, con el objetivo de establecer la eficiencia de biochar de dos biomásas diferentes, residuos avícolas y lodos de depuradora mediante una caracterización (CO, NT, P₂O₅, K₂O, MgO, CaO, SO₃, MO, pH, cenizas, humedad, C/N, CE, Cu y Zn) y registrar sus variables de control (tiempo, temperatura, presión) para luego analizarlos mediante el Software IBM SPSS Statistics 19 como herramienta estadística.

2.2.2. *Lógica de la investigación.*

Para la determinación de la eficiencia entre las muestras de biochar de residuos avícolas (MBG1, MBG2 y MBG3) y las muestras de biochar lodos de depuradora (MBLD1, MBLD2 y MBLD3), se utilizó el método de pivote mediante la prueba T-student con la ayuda del programa estadístico IBM SPSS 19. Con éste se determinó estadísticamente la diferencia de medias de las muestras biochar de residuos avícolas y las muestras de biochar lodos de depuradora cuando uno de sus parámetros es cero respecto a los parámetros del biochar comercial.

De Balanceados EXIBAL, la biomasa en estudio es la gallinaza, que se genera en el corral de gallinas 50 semanas a fin de postura en una cantidad de 16941 kg cada mes, el cual se mezcla con 25 kg de cascarilla de arroz en cada cama, un total de 17041 kg. Mientras que de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “La Libertad”, la biomasa de estudio son los lodos que se depositan en las piscinas de lechos de secado (5 en funcionamiento). Cada 6 meses se colocan 14220 L de lodos en cada piscina, con un total de 71100 L, los cuales están parcialmente digeridos por las condiciones ambientales a las que están expuestos.

Adicionalmente a la determinación de la eficiencia entre los dos tipos de biochar, se realizó una comparación de los parámetros analizados mediante la prueba Chi-cuadrado, para indicar si existe diferencia al aplicar el proceso de pirólisis en la biomasa (MG1 y MLD1), teniendo en cuenta el nivel de significancia ($p < 0,05$).

Finalmente, se utilizó el modelo lineal general multivariante para interpretar y representar más de una variable entre dos muestras, determinando si las muestras de biochar de residuos avícolas y las muestras de biochar de lodos de depuradora son incompatibles, con un nivel de significancia ($p < 0,05$).

2.2.3. Planteamiento de la hipótesis.

Hipótesis textual

H_0 : No existen diferencias en la eficiencia del biochar por cambiar el tipo de biomasa.
($p \geq 0,05$)

H_1 : Existen diferencias en la eficiencia del biochar por cambiar el tipo de biomasa.
($p < 0,05$)

2.2.4. Población de estudio.

La población de estudio para desarrollar el estudio sobre la “Evaluación de la eficiencia de biochar obtenido mediante pirólisis de residuos avícolas, y lodos de depuradora” es de 336 unidades experimentales; 39 para biomasa de residuos avícolas, 45 para biomasa de lodos de depuradora, 117 para muestras de biochar de residuos avícolas y 135 para muestras de biochar de lodos de depuradora.

2.2.5. Tamaño de muestra.

El tamaño de la muestra para desarrollar el estudio sobre la “Evaluación de la eficiencia de biochar obtenido mediante pirólisis de residuos avícolas, y lodos de depuradora” es de 336 unidades experimentales; 39 para biomasa de residuos avícolas, 45 para biomasa de lodos de depuradora, 117 para muestras de biochar de residuos avícolas y 135 para muestras de biochar de lodos de depuradora.

2.2.6. Identificación de variables.

Para evaluar la eficiencia de biochar de distintos tipos de residuos mediante pirólisis, se controló cuantitativamente la variable independiente y se evaluó la variable dependiente mediante las variables intervinientes y las variables de control, las cuales son:

Tabla 5-2. Tipo de variables

TIPOS	VARIABLES
Factor	Tipo de biomasa
Variable respuesta	Eficiencia de biochar
Intervinientes	Nitrógeno
	Fósforo
	Potasio
	Calcio
	Magnesio
	Azufre
	Materia orgánica
	Cenizas
	Humedad
	Carbono orgánico
	Relación C/N
	pH
	Conductividad eléctrica
	Cobre
Zinc	
De control	Temperatura aplicada al proceso
	Metodología de muestreo
	Tratamiento
	Tiempo de residencia

Realizado por: Fernández, V. y López, A. (2018)

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Muestreo

Residuos avícolas

La muestra de residuos avícolas fue tomada el 10 de octubre del 2017 a las 08:30, en Balanceados EXIBAL de la Parroquia San Francisco de Piscin en la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo, Ecuador. En la tabla 1-3 se indica los puntos de muestreo.

Tabla 1-3. Puntos de muestreo de residuos avícolas

Cama 1	1° 40' 08.01" Sur	78° 37' 42.89" Oeste
Cama 2	1° 40' 08.08" Sur	78° 37' 42.89" Oeste
Cama 3	1° 40' 08.18" Sur	78° 37' 42.89" Oeste
Cama 4	1° 40' 08.28" Sur	78° 37' 42.89" Oeste

Realizado por: Fernández, V. y López, A. (2018)

Se realizó un muestreo compuesto tomando 8 kg de cada cama del corral de gallinas 50 semanas a fin de postura, obteniendo una muestra de 32 kg. Posteriormente, se realizó el método del cuarteo, del cual se obtuvieron 10,2 kg de residuos avícolas.

Lodos de depuradora

La muestra de lodos de depuradora fue tomada el 18 de octubre del 2017 a las 09:15, en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "La Libertad" en la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo, Ecuador. En la tabla 2-3 se indican los puntos de muestreo.

Tabla 5-3. Puntos de muestreo de lodos de depuradora

Piscina de lechos de secado 1	1° 41' 53.77" Sur	78° 38' 55.06" Oeste
Piscina de lechos de secado 2	1° 41' 53.77" Sur	78° 38' 55.20" Oeste
Piscina de lechos de secado 3	1° 41' 53.78" Sur	78° 38' 55.87" Oeste
Piscina de lechos de secado 4	1° 41' 53.80" Sur	78° 38' 55.53" Oeste
Piscina de lechos de secado 5	1° 41' 53.80" Sur	78° 38' 55.69" Oeste

Realizado por: Fernández, V. y López, A. (2018)

Al igual que los residuos avícolas, se realizó un muestreo compuesto para los lodos de depuradora tomando 3 L de cada piscina de lecho de secado consiguiendo así, una muestra de 15 L. Cuando se llevó a cabo el cuarteo de los lodos secos al aire libre se obtuvieron 10 kg de lodos de depuradora.

3.2. Preparación de la muestra

Residuos avícolas

Del pre tratamiento de la muestra (MG1), se obtuvieron 3,84 kg de residuos avícolas con una humedad de 13,50% (Tabla 12-3) y tamaño de partícula 8 mm. Este valor es importante, ya que antes de la conversión térmica, la biomasa debe presentar un contenido de humedad menor al 50% de lo contrario, afecta a la eficiencia del producto (McKendry, 2002, p. 37-46).

Lodos de depuradora

Del pre tratamiento de la muestra (MLD1), se obtuvieron 3,28 kg de lodos de depuradora con una humedad de 7,8 % (Tabla 12-3) y tamaño de partícula de 0,425 mm. Asimismo como se indicó en la preparación de la muestra de residuos avícolas, la humedad que presentan los lodos de depuradora son los indicados pues, están en el rango óptimo para sufrir una conversión térmica (<50%).

3.3. Producción de biochar mediante pirólisis

Para llevar a cabo el proceso de pirólisis lenta a $300^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ con un tiempo de residencia de 30 minutos, se introdujeron 300g de biomasa en el reactor Batch para cada operación (3 por tipo de biomasa) y se obtuvieron las cantidades de biochar presentadas en la Tabla 3-3.

Tabla 3-3. Cantidad de biochar obtenido por muestra

BIOCHAR OBTENIDO DE RESIDUOS AVÍCOLAS			BIOCHAR OBTENIDO DE LODOS DE DEPURADORA		
MBG1 (g)	MBG2 (g)	MBG3 (g)	MBLD1 (g)	MBLD2 (g)	MBLD3 (g)
194,50	199,05	211,50	258,60	255,00	248,70

Realizado por: Fernández, V. y López, A. (2018)

Durante el proceso de pirólisis de los residuos avícolas, la presión se mantuvo en un rango de 700 a 900 psi, mientras que, en la pirólisis de los lodos de depuradora, la presión se mantuvo en un rango de entre 240 a 290 psi.

3.4. Caracterización de biomasa

En la caracterización de residuos avícolas (MG1) y lodos de depuradora (MLD1) se presentan concentraciones de distintos parámetros, evidenciados en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3. Valores de la caracterización de biomasa

PARÁMETRO	UNIDAD	MG1	MLD1
NT	% p/p	3,61	1,04
P ₂ O ₅	% p/p	3,1667	0,3727
K ₂ O	% p/p	2,6962	0,0927
CaO	% p/p	10,8012	1,3729
MgO	% p/p	1,4547	0,7746
SO ₃	% p/p	0,58	0,45
MO	% p/p	67,59	17,22
Cenizas	% p/p	32,41	82,78
Humedad	%	13,50	7,80
CO	% p/p	39,20	9,99
C/N	-	10,86	9,60
pH	-	7,60	7,59
CE	mS/cm	1088	149,3
Cu	% p/p	*	0,0142
Zn	% p/p	*	0,0288

*no evaluados.

Realizado por: Agrocalidad. Laboratorio de Fertilizantes (2018)

Para la obtención de un biochar de calidad se deben considerar varios parámetros importantes, es por ello que se realizó la caracterización de la biomasa. La humedad es uno de los principales parámetros que se toman en cuenta a la hora de optar por la tecnología y equipos a aplicar. El contenido de humedad en la muestra de residuos avícolas o gallinaza (MG1) es 42% mayor al porcentaje de humedad de lodos de depuradora (MLD1). En la investigación de (McKendry, 2002, p. 37-46) se determina que una conversión térmica requiere un contenido de humedad menor al 50%, ya que un alto contenido de humedad representa un producto de baja eficiencia, evidenciando en la Tabla 13-3, que los valores de las muestras de gallinaza (13,50%) y lodos de depuradora (7,8%) se encuentran dentro de este rango.

El contenido de carbono orgánico es 75% mayor en la biomasa de residuos avícolas o gallinaza (39,20% p/p) que en la biomasa de lodos de depuradora (9,99% p/p). También el nitrógeno total es 71% mayor en el los residuos avícolas (3,61% p/p) respecto a lodos de depuradora (1,04% p/p). El potasio presenta un contenido 97% mayor en residuos avícolas (2,6962% p/p) que en lodos de depuradora (0,0927% p/p).

En la investigación de Song & Guo (2012, p. 138-145) la gallinaza utilizada como biomasa presenta de 74,92% p/p de carbono orgánico; 7,65% p/p de nitrógeno total y 27,18% p/p de potasio, contenidos mayores en un 48%, 53% y 90%, respectivamente a los residuos avícolas. Estos valores son posiblemente afectados por la alimentación de las gallinas.

Además, en el estudio de (Hossain, et al., 2011, pp. 223-228) los lodos utilizados como biomasa indican un 32,3% p/p de carbono orgánico y 3.37% p/p de nitrógeno total, contenidos mayores en un 69%, ya que la procedencia de estas aguas es urbana.

El calcio presenta un contenido de 10,8012% p/p en los residuos avícolas (MG1), que es 87% mayor al contenido en los lodos de depuradora (MLD1) con un 1,3729% p/p. (Song & Guo, 2012, p. 138-145) determinaron que el calcio en la gallinaza está presente con 1,53% p/p, este contenido es 86% menor a los residuos avícolas (MG1). La diferencia se debe a que la biomasa de residuos avícolas contiene cal. Sin embargo, en la investigación de (Hossain, et al., 2011, pp. 223-228) que se utilizaron los lodos crudos como biomasa, el contenido de calcio (3,02% p/p) es 55% mayor al contenido en los lodos de depuradora (MLD1).

El magnesio presenta un porcentaje de 1,4547% p/p en la gallinaza (MG1) frente a 0,7746% p/p en lodos de depuradora, éste último es 47% menor al contenido en la gallinaza. Los valores de Mg en la gallinaza son similares con un 8% a los del estudio de (Song & Guo, 2012, p. 138–145) que es 1,34% p/p. Por otro lado, en el estudio de (Hossain, et al., 2011, pp. 223-228) el contenido de magnesio (0,33% p/p) en la biomasa es menor en un 57% al de los lodos de depuradora (MLD1) de la PTAR “La Libertad”.

El valor de pH en la gallinaza (MG1) es de 7,60, mayor en un 0.13% al valor de las muestras de lodos de depuradora (MLD1=7,59). En el estudio de (Hossain, et al., 2011, pp. 223-228) el valor de pH en los lodos de depuradora es de 4,42, siendo menor en un 42% a los lodos de depuradora (MLD1).

Con respecto a la conductividad eléctrica, los residuos avícolas (MG1) presentan un valor de 1088 mS/cm, mientras que, los lodos de depuradora (MLD1) 149,3 mS/cm, observándose una diferencia de 86%. En el estudio de (Hossain, et al., 2011, pp. 223-228) el contenido de CE de los lodos de depuradora es 11,95 dS/m (11,95 mS/cm), valor menor en 92% a la muestra de lodos de depuradora (MLD1) de la PTAR “La Libertad”.

Los contenidos de Cu y Zn no son tomados en cuenta en la caracterización de la biomasa de residuos avícolas y por tanto, tampoco en la caracterización de biochar a partir de este residuo, debido a que la alimentación no presenta un constituyente con estos elementos traza, información proporcionada por BALANCEADOS EXIBAL (Anexo A).

En el estudio de (Hossain, et al., 2011, pp. 223-228) los lodos crudos presentan un 0,081% p/p de cobre y 0,135% p/p de zinc, contenidos mayores en un 82% y 79%, respectivamente a los lodos de depuradora (MLD1). Estos valores son posiblemente afectados por la procedencia urbana de las aguas residuales del estudio en mención.

3.5. Caracterización de biochar

3.5.1. Biochar derivado de residuos avícolas.

En la caracterización de las muestras de biochar obtenidas a partir de residuos avícolas presentan concentraciones de distintos parámetros, evidenciados en la Tabla 5-3.

Tabla 5-3. Valores promedios de la caracterización de biochar obtenido a partir de residuos avícolas

PARÁMETRO	UNIDAD	MBG1	MBG2	MBG3
NT	% p/p	1,43	2,62	2,62
P ₂ O ₅	% p/p	5,6011	4,9628	4,7378
K ₂ O	% p/p	4,8433	4,0574	4,3469
CaO	% p/p	15,6791	14,5403	13,7976
MgO	% p/p	2,2434	2,0758	2,1009
SO ₃	% p/p	0,98	1,08	1,05
MO	% p/p	49,99	55,90	56,35
Cenizas	% p/p	20,01	44,10	43,65
Humedad	%	25,37	19,23	17,24
CO	% p/p	28,67	32,48	32,69
C/N	-	20,28	12,37	12,48
pH	-	9,52	8,35	8,43
CE	mS/cm	223	1450	1530

Fuente: Agrocalidad. Laboratorio de Fertilizantes (2018)

El contenido de carbono orgánico en las muestras de biochar de gallinaza 3 (MBG3=32,69% p/p) es 12% mayor al de biochar de gallinaza 1 (MBG1=28,67% p/p) y 1% mayor al biochar de gallinaza 2 (MBG2=32,48% p/p). El estudio de (Song & Guo, 2012, p. 138–145) presenta un contenido de CO de 37,99% p/p, el cual es 25% mayor a MBG1, 15% mayor a MBG2 y 14% mayor a MBG3.

El contenido de nitrógeno total en las muestras de biochar de gallinaza 2 (MBG2=2,62% p/p) y biochar de gallinaza 3 (MBG3=2,62% p/p) es 45% mayor al contenido en la muestra de biochar de gallinaza 1 (MBG1=1,43% p/p). Como se menciona en el trabajo de (Song & Guo, 2012, p. 138–145) sobre el estudio de la calidad del biochar de gallinaza a varias temperaturas, el NT del biochar obtenido a 300°C, fue de 4,91% p/p, siendo 71% mayor a MBG1 y 47% mayor a MBG2 y MBG3.

El contenido de fósforo en las muestras de biochar de gallinaza 1 (MBG1=5,6011% p/p) es 11% mayor al biochar de gallinaza 2 (MBG2=4,9628% p/p) y 15% mayor al biochar de gallinaza 3 (MBG3=4,7378% p/p). Como se menciona en el trabajo de (Song & Guo, 2012, p. 138–145), el contenido de P es de 0,343% p/p. Este valor es 94% menor a MBG1 y 93% menor a MBG2 y MBG3.

El contenido de potasio en las muestras de biochar de gallinaza 1 (MBG1=4,8433% p/p) es 16% mayor al biochar de gallinaza 2 (MBG2=4,0574% p/p) y 10% mayor al biochar de gallinaza 3 (MBG3=4,3469% p/p). El biochar producido a 300°C por (Song & Guo, 2012, p. 138–145) presenta un 32,01% p/p de K, valor 85% mayor a MBG1, 87% mayor a MBG2 y 86% mayor a MBG3.

El contenido de calcio en las muestras de biochar de gallinaza 1 (MBG1=15,6791% p/p) es 7% mayor al de biochar de gallinaza 2 (MBG2=14,5403% p/p) y 12% mayor al biochar de gallinaza 3 (MBG3=13,7976% p/p). Como hace referencia el trabajo de (Song & Guo, 2012, p. 138–145), el contenido de Ca fue de 0,238% p/p, valor 98% menor a MBG1, MBG2 y MBG3.

El contenido de magnesio en las muestras de biochar de gallinaza 1 (MBG1=2,2434%) es 7% mayor al de biochar de gallinaza 2 (MBG2=2,0758% p/p) y 6% mayor al biochar de gallinaza 3 (MBG3=2,1009% p/p). El contenido de Mg es 88% mayor a MBG1 y 87% mayor a MBG2 y MBG3 frente al que presenta el trabajo de (Song & Guo, 2012, p. 138–145) con 0,278% p/p.

El contenido de azufre en las muestras de biochar de gallinaza 2 (MBG2=1,08% p/p) es 9% mayor al de biochar de gallinaza 1 (MBG1=0,98% p/p) y 3% mayor al biochar de gallinaza 3 (MBG3=1,05%). (Song & Guo, 2012, p. 138–145) menciona que el contenido de S en el biochar fue de 12,30% p/p, siendo 92% mayor a MBG1 y 91% mayor a MBG2 y MBG3.

El contenido de materia orgánica en las muestras de biochar de gallinaza 3 (MBG3=56,35% p/p) es 11% mayor al de biochar de gallinaza 1 (MBG1=49,99% p/p) y 1% mayor al biochar de gallinaza 2 (MBG2=55,90% p/p). En la investigación de (Wang, et al., 2017, pp. 300-308) se determina un contenido de MO de 65,12% p/p en el biochar, valor 23% mayor a MBG1, 14% mayor a MBG2 y 13% mayor a MBG3.

El contenido de cenizas en las muestras de biochar de gallinaza 2 (MBG2=44,10% p/p) es 55% mayor al de biochar de gallinaza 1 (MBG1=20,01% p/p) y 1% mayor al biochar de gallinaza 3 (MBG3=43,65% p/p). (Song & Guo, 2012, p. 138–145) determinó que el contenido de cenizas en el biochar fue de 47,87% p/p, valor 58% mayor a MBG1, 8% mayor a MBG2 y 9% mayor a MBG3.

La humedad en las muestras de biochar de gallinaza 1 (MBG1=25,37% p/p) es 24% mayor al de biochar de gallinaza 2 (MBG2=19,23% p/p) y 32% mayor al biochar de gallinaza 3 (MBG3=17,24% p/p). En el biochar utilizado en (Wang, et al., 2017, pp. 300-308) se determina una humedad de 7,31% p/p, valor 71% menor a MBG1, 62% menor a MBG2 y 58% menor a MBG3.

El aumento de la humedad en las muestras de biochar a partir de gallinaza respecto a la biomasa, se debió a la generación de aceite durante el proceso de pirólisis y a que el reactor Batch no contaba con el sistema de separación de fases de la materia.

La relación carbono/nitrógeno en las muestras de biochar de gallinaza 1 (MBG1=20,28) es 39% mayor al de biochar de gallinaza 2 (MBG2=12,37) y 38% mayor al biochar de gallinaza 3 (MBG3=12,48). Se recomienda que en sustratos para uso agrícola los valores de C/N se encuentren entre 20 y 40, ya que relaciones más altas a este rango podrían originar problemas. Por consiguiente, las relaciones presentadas en la Tabla 13-3 son adecuadas y permite que el N no sea inmovilizado por los microorganismos y se encuentre disponible para el desarrollo de la planta, como lo establece (Abad, et al., 1999, pp. 59-68) en su libro “Compendios de horticultura”.

El pH en las muestras de biochar de gallinaza 1 (MBG1=9,52) es 12% mayor al de biochar de gallinaza 2 (MBG2=8,35) y 11% mayor al biochar de gallinaza 3 (MBG3=8,43). En el estudio de (Song & Guo, 2012, p. 138–145) se observa que el pH del biochar fue de 9.5, valor 0,21% mayor a MBG1, 12% mayor a MBG2 y 11% mayor a MBG3.

La conductividad eléctrica en las muestras de biochar de gallinaza 3 (MBG3=1530 mS/cm) es 85% mayor al de biochar de gallinaza 1 (MBG1=223 mS/cm) y 5% mayor al biochar de gallinaza 2 (MBG2=1450 mS/cm). Como se menciona en el trabajo de (Song & Guo, 2012, p. 138–145) el contenido de CE en el biochar fue de 22,8 dS/m (22,8 mS/cm), valor 90% menor a MBG1, 98% menor a MBG2 y 99% menor a MBG3. En consecuencia al aumento del contenido de cenizas, la

CE de las muestras de biochar también se acrecentó con el aumento gradual de la temperatura (Song & Guo, 2012, p. 138–145) y la presencia de sales solubles (Prieto, 2016, p. 128).

3.5.2. Biochar derivado de lodos de depuradora.

En la caracterización de las muestras de biochar de lodos de depuradora se presentan concentraciones de distintos parámetros, evidenciados en la Tabla 6-3.

Tabla 6-3. Valores promedios de la caracterización de biochar obtenido a partir de lodos de depuradora.

PARÁMETROS	UNIDAD	MBLD1	MBLD2	MBLD3
NT	% p/p	1,31	1,16	0,67
P ₂ O ₅	% p/p	0,4478	0,5602	0,5594
K ₂ O	% p/p	0,1127	0,1166	0,1024
CaO	% p/p	1,4537	1,4644	1,4321
MgO	% p/p	0,7286	0,7356	0,7280
SO ₃	% p/p	0,38	0,18	0,33
MO	% p/p	11,77	11,22	11,65
Cenizas	% p/p	88,23	88,78	88,35
Humedad	%	2,20	2,21	2,30
CO	% p/p	6,82	6,51	6,76
C/N	-	5,21	5,61	10,09
pH	-	7,71	7,75	7,76
CE	mS/cm	98,40	122	101,60
Cu	% p/p	0,011	0,0097	0,0091
Zn	% p/p	0,0254	0,0239	0,0248

Fuente: Agrocalidad. Laboratorio de Fertilizantes (2018)

El contenido de nitrógeno total en la muestra de biochar de lodos de depuradora 1 (MBLD1=1,31% p/p) es 11% mayor al de biochar de lodos de depuradora 2 (MBLD2=1,16% p/p) y 49% mayor al contenido en la muestra de biochar de lodos de depuradora 3 (MBLD3=0,67% p/p). Como se menciona en el trabajo de (Hossain, et al., 2011, pp. 223-228) sobre la obtención de biochar a partir de lodos de aguas urbanas a varias temperaturas, el contenido de NT del biochar obtenido a 300°C, es de 3,32% p/p, valor 61% mayor a MBLD1, 65% mayor a MBLD2 y 80% mayor a MBLD3.

Los contenidos de NT tanto en las muestras de biochar de lodos de depuradora como en las muestras de biochar de residuos avícolas, pudieron haber sido afectados por la volatilización que empieza a los 200°C en el proceso de pirólisis (Gaskin, et al., 2008, p. 2065).

El contenido de fósforo en las muestras de biochar de lodos de depuradora 2 (MBLD2=0,5602% p/p) es 20% mayor al biochar de lodos de depuradora 1 (MBLD1=0,4478% p/p) y 14% mayor al biochar de lodos de depuradora 3 (MBLD3=0,5594% p/p). El contenido de P del biochar obtenido en el estudio de (Zhao, et al., 2013, pp. 1-9) a partir de lodos crudos, contiene 1,702g kg⁻¹ (0,1702% p/p), valor 62% menor al MBLD1, 70% menor a MBLD2 y MBLD3.

El contenido de potasio en las muestras de biochar de lodos de depuradora 2 (MBLD2=0,1166% p/p) es 3% mayor al biochar de lodos de depuradora 1 (MBLD1=0,1127% p/p) y 12% mayor al biochar de lodos de depuradora 3 (MBLD3=0,1024% p/p). El biochar producido a 300°C por (Hossain, et al., 2011, pp. 223-228) contuvo 32,01% p/p de potasio, siendo 100% mayor a las muestras de biochar de lodos de depuradora.

El contenido de calcio en las muestras de biochar de lodos de depuradora 2 (MBLD2=1,4644% p/p) es 1% mayor al de biochar de lodos de depuradora 1 (MBLD1=1,4537% p/p) y 2% mayor al biochar de lodos de depuradora 3 (MBLD3=1,4321% p/p). Como se menciona en el trabajo de (Hossain, et al., 2011, pp. 223-228), el contenido de Ca fue de 3,47% p/p, valor 58% mayor a MBLD1 y MBLD2, y 59% mayor a MBLD3.

El contenido de magnesio en las muestras de biochar de lodos de depuradora 2 (MBLD2=0,7356% p/p) es 1% mayor al de biochar de lodos de depuradora 1 (MBLD1=0,7286% p/p) y al biochar de lodos de depuradora 3 (MBLD3=0,7280% p/p). El trabajo de (Hossain, et al., 2011, pp. 223-228) presenta un contenido de 0,35% p/p en Ca, el cual es 52% menor respecto a las muestras de biochar lodos de depuradora.

El aumento de la temperatura provoca la volatilización de C, H, O y N, sin embargo otros elementos como P, K, Ca y Mg aumentan significativamente. El contenido de estos nutrientes incrementa a partir de los 200°C, con excepción del potasio y fósforo que se vaporizan a temperaturas superiores a 760°C (Gaskin, et al., 2008, p. 2065).

El contenido de azufre en las muestras de biochar de lodos de depuradora 1 (MBLD1=0,38% p/p) es 53% mayor al de biochar de lodo de depuradora 2 (MBLD2=0,18% p/p) y 13% mayor al biochar de lodo de depuradora 3 (MBLD3=0,33% p/p). (Hossain, et al., 2011, pp. 223-228) menciona que el contenido de S en el biochar fue de 4,47% p/p, contenido 91% mayor a MBLD1, 96% mayor a MBLD2 y 93% mayor a MBLD3. La elevada salinidad del biochar a partir de lodos obtenido en el estudio de (Hossain, et al., 2011, pp. 223-228) determina que generalmente, el contenido de S y CE disminuyen por la transformación térmica.

El contenido de materia orgánica en las muestras de biochar de lodos de depuradora 1 (MBLD1=11,77% p/p) es 5% mayor al de biochar de lodo de depuradora 2 (MBLD2=11,22% p/p) y 1% mayor al biochar de lodo de depuradora 3 (MBLD3=11,65% p/p). En la investigación de (Wang, et al., 2017, pp. 300-308) se determina un contenido de MO de 65,12% p/p en el biochar, valor 82% mayor a MBLD1 y MBLD3, y 83% mayor a MBLD2.

El contenido de materia orgánica disminuye en las muestras de ambos tipos de biochar (residuos avícolas y lodos de depuradora), debido a que se encuentra adherida a las fracciones minerales y en su mayoría es termolábil por ello, en un rango de 200°C-500°C como se determina en (Ahuja, et al., 1996) citado en (Abenza, 2012) se libera CO₂ y se mineraliza elementos nutritivos para la planta que contribuyen a la fertilidad del sustrato (Xu, 2015).

El contenido de cenizas en las muestras de biochar de lodos de depuradora 2 (MBLD2=88,78% p/p) es 1% mayor al de biochar de lodos de depuradora 1 (MBLD1=88,23% p/p) y 0,5% mayor al biochar de lodos de depuradora 3 (MBLD3=88,35% p/p). (Hossain, et al., 2011, pp. 223-228) determinó que el contenido de cenizas en el biochar obtenido es de 52,11% p/p, valor 41% menor a MBLD1, MBLD2 y MBLD3. El contenido de cenizas se incrementó en las últimas muestras mencionadas con respecto a la biomasa, debido al aumento gradual de la temperatura (Song & Guo, 2012, p. 138-145).

La humedad en las muestras de biochar de lodos de depuradora 3 (MBLD3=2,30%) es 4% mayor al biochar de lodos de depuradora 1 (MBLD1=2,20%) y al biochar de lodos de depuradora 2 (MBLD2=2,21%). En el trabajo desarrollado por (Hossain, et al., 2011, pp. 223-228), el biochar presenta 4,3% de humedad, valor 49% mayor a MBLD1 y MBLD2, y 47% mayor a MBLD3.

El contenido de carbono orgánico en las muestras de biochar de lodos de depuradora 1 (MBLD1=6,82% p/p) es 5% mayor al de biochar de lodos de depuradora 2 (MBLD2=5,51% p/p) y 1% mayor al biochar de lodos de depuradora 3 (MBLD3=6,76% p/p). El biochar en el estudio de (Hossain, et al., 2011, pp. 223-228) presenta 25,6% p/p de CO, contenido 73% mayor a MBLD1, 78% mayor a MBLD2 y 74% mayor a MBLD3. Como menciona (Song & Guo, 2012, p. 138-145), el carbono orgánico disminuye conforme aumenta la temperatura, razón que fue constatada en la reducción de CO en las muestras biochar de gallinaza y biochar de lodos de depuradora.

La relación carbono/nitrógeno en las muestras de biochar de lodos de depuradora 3 (MBLD3=10,09%) es 48% mayor al de biochar de lodos de depuradora 1 (MBLD1=5,21%) y 44% mayor al biochar de lodos de depuradora 2 (MBLD2=5,61%), valores por debajo del rango que establece (Abad, et al., 1999) entre 20-40%. La relación C/N es un parámetro que define la evolución de la materia orgánica (Guerrero, 1990).

El pH en las muestras de biochar de lodos de depuradora 3 (MBLD3=7,76) es 1% mayor al de biochar de lodos de depuradora 1 (MBLD1=7,71) y 0,12% mayor al biochar de lodos de depuradora 2 (MBLD2=7,75). En el estudio de (Hossain, et al., 2011, pp. 223-228) se observa que el pH es de 5.2. Este biochar es más ácido con un 33% que el reportado en las muestras de biochar de lodos de depuradora. El incremento de la temperatura en el proceso de pirólisis y el aumento de cenizas, provoca que el pH en las muestras de biochar de gallinaza y en las muestras de biochar de lodos de depuradora aumente significativamente (Yu, et al., 2017, p. 6).

La conductividad eléctrica en las muestras de biochar de lodos de depuradora 2 (MBLD2=122 mS/cm) es 19% mayor al de biochar de lodos de depuradora 1 (MBLD1=98,40 mS/cm) y 17% mayor al biochar de lodos de depuradora 3 (MBLD3=101,60 mS/cm). Como se menciona en el trabajo de (Hossain, et al., 2011, pp. 223-228) la CE en el biochar es de 4,12 mS/cm, valor 96% menor a MBLD1 y MBLD3, y 97% menor a MBLD2.

El contenido de cobre en las muestras de biochar de lodos de depuradora 1 (MBLD1=0,011% p/p) es mayor 17% al de biochar de lodos de depuradora 3 (MBLD3=0,0091% p/p) y 11% mayor al biochar de lodos de depuradora 2 (MBLD2=0,0098% p/p). (Hossain, et al., 2011) determinaron en su trabajo que el contenido de Cu en el biochar es de 0,081% p/p, valor 86% mayor a la muestra MBLD1, 88% mayor a la muestra MBLD2 y 89% mayor a la muestra MBLD3.

El contenido de zinc en las muestras de biochar de lodos de depuradora 1 (MBLD1=0,0254% p/p) es 6% mayor al biochar de lodos de depuradora 2 (MBLD2=0,0239% p/p) y 2% mayor al biochar de lodos de depuradora 3 (MBLD3=0,0248% p/p). Como se menciona en el trabajo de (Hossain, et al., 2011, pp. 223-228) el contenido de Zn en el biochar es de 0,135% p/p, valor 81% mayor a la muestra MBLD1 y 82% a las muestras MBLD2 y MBLD2.

En estos dos últimos elementos (Cu y Zn), su contenido disminuyó debido la volatilidad y al efecto de la temperatura de pirólisis tanto en la composición como en la estructura química del biochar (Chan & Xu, 2009).

Con la adición de biochar al suelo, nutrientes esenciales como nitrógeno benefician a la flora microbiana mejorando su desarrollo y el crecimiento de la planta mediante la absorción de estos nutrientes (Curiel, 2016, p. 13). En el estudio de (Oses, 2013) sobre el efecto de la aplicación de un biochar obtenido a partir de *Miscanthus* con la adición de nitrógeno, se determinó 1,13% p/p de N, dato que se encuentra próximo a los valores del contenido de nitrógeno de biochar de lodos de depuradora y el biochar obtenido de residuos avícolas determinado en el presente estudio.

El biochar puede aumentar el fósforo en el suelo que, es capaz de mejorar la disponibilidad de nutrientes para la planta (Major, et al., 2010, p. 117–128), y además estabiliza los agregados presentes en el suelo (Schulz, et al., 2013, p. 817–827). El biochar obtenido a partir de filtro de aserrín en la investigación de (Da Silva, et al., 2016), presentó un contenido de P de 34 g kg⁻¹ (3,4% p/p) valor relativamente superior a los determinados en las muestras de biochar a partir de gallinaza y significativamente mayor a los contenidos en las muestras de biochar a partir de lodos de depuradora.

El contenido de potasio mejora el sistema hídrico de la planta, volviéndole más tolerable a sequías, heladas y salinidad (FAO; Asociación de internacional de la industria de los fertilizantes, 2002, p. 8). En el estudio de (De Oliveira Miranda, et al., 2017, p. 313 – 323) se determinó un efecto significativo en el suelo por la adición de biochar a partir de residuos de madera con un contenido de K de 1.34 g kg⁻¹ (0,134% p/p). Este contenido es significativamente menor al presente en las tres muestras de biochar a partir de gallinaza por lo que, éstos deben ser aplicados en dosis muy pequeñas. No obstante, los contenidos de K en las muestras de biochar a partir de lodos de depuradora son próximos al del estudio citado anteriormente.

En el trabajo de (Aker, et al., 2014) el porcentaje de Ca en el biochar es de 8,5 mg/100g (0,0085% p/p) siendo éste un valor significativamente más bajo tanto en el biochar proveniente de lodos de depuradora como en el de residuos avícolas de la presente investigación. Sin embargo, en el estudio citado anteriormente, al aplicarlo se obtuvo un valor de 368 mg/100g (0,368% p/p) de Ca. Lo que constata que el biochar tiene potencial para enriquecer los suelos independientemente de su textura y edad.

El magnesio es otro de los nutrientes esenciales debido a que es parte de las reacciones enzimáticas afines a la transferencia de energía de las plantas (FAO; Asociación de internacional de la industria de los fertilizantes, 2002, p. 8). En la investigación de (Oses, 2013) se determina un contenido de Mg de 1,92 g kg⁻¹ (0,192 % p/p) del biochar obtenido de *Miscanthus* a 400°C. Este valor es menor al obtenido en las muestras de biochar de gallinaza y en las muestras de biochar a partir de lodos de depuradora indicando que su adición debe ser en pequeñas dosis.

Las muestras de biochar de gallinaza al presentar un pH ligeramente alcalino pueden ser adecuados para corregir la acidificación en suelos ácidos, ya que la mayoría de los biochar de pirólisis lenta pueden contener un pH de 7,5 a 10,5 según la Norma NOM-021-SEMARNAT-2000 como lo cita (Martinez, 2015).

A continuación en la Tabla 7-3, se presentan la caracterización de un biochar comercial obtenido de madera de encina, con el cual se comparará el biochar de residuos avícolas y el biochar obtenido de lodos de depuradora.

Tabla 7-3. Caracterización del biochar comercial

PARÁMETROS	UNIDAD	BC
NT	% p/p	0,841
P ₂ O ₅	% p/p	0,002
K ₂ O	% p/p	0,071
CaO	% p/p	0,061
MgO	% p/p	0,055
CO	% p/p	86,00
C/N	-	102,3
pH	-	9,490
CE	mS/cm	0,227

Fuente: (Nieto, 2015)

3.6. Determinación de la eficiencia de biochar

3.6.1. Método pivote.

Se realizó el método pivote mediante la prueba T-Student con la ayuda del programa estadístico IBM SPSS 19. Se trata de probar una hipótesis que es, que no hay diferencias significativas entre las medias de dos poblaciones (muestras de biochar de gallinaza y muestras de biochar de lodos de depuradora). Esta p tiene un nivel de confianza del 95%, por lo que si es menor de 0,05 se tiene que la hipótesis es falsa (I Gregori, 2009).

Los valores esperados para una distribución normal están dados con relación a la distribución especificada. Si el valor p es mayor a 0.05 ($p \geq 0.05$), entonces se considera que la distribución es normal (Johnson & Kuby, 2008), determinado por la prueba Mann-Whitney.

Tabla 8-3. Valores de la prueba Mann-Whitney para la caracterización de biochar comercial vs biochar de gallinaza

	Sig. Asintótica (bilateral)		
	MBG1-BC	MBG2-BC	MBG3-BC
Validación completa	0,070	0,085	0,085
NT = 0	0,185	0,216	0,216
P₂O₅ = 0	0,185	0,216	0,216
K₂O = 0	0,185	0,216	0,216
CaO = 0	0,216	0,251	0,251
MgO = 0	0,185	0,077	0,216
CO = 0	0,64	0,077	0,077
C/N = 0	0,64	0,077	0,077
pH = 0	0,112	0,112	0,112
CE = 0	0,289	0,331	0,331

Realizado por: Fernández, V. y López, A. (2018)

En la Tabla 8-3, se observan que todos los valores de significancia son mayores a este valor, incluso si uno de los parámetros de las muestras de biochar de residuos avícolas y del biochar comercial se vuelve cero, por lo que se considera que esta distribución es normal.

Tabla 9-3. Valores *p* de la prueba T-student para biochar comercial vs biochar de gallinaza
Sig. Asintótica (bilateral-p)

	MBG1-BC	MBG2-BC	MBG3-BC
Validación completa	0,724	0,460	0,452
NT = 0	0,723	0,460	0,453
P₂O₅ = 0	0,712	0,462	0,454
K₂O = 0	0,714	0,461	0,454
CaO = 0	0,690	0,466	0,458
MgO = 0	0,719	0,461	0,453
CO = 0	0,860	0,440	0,434
C/N = 0	0,990	0,425	0,420
pH = 0	0,726	0,460	0,452
CE = 0	0,398	0,370	0,369

Realizado por: Fernández, V. y López, A. (2018)

Una vez que los valores del biochar comercial y el biochar de gallinaza presentan una distribución normal, se aplicó la prueba T-student y se determinó si existen diferencias entre el biochar comercial y las muestras de biochar obtenido de residuos avícolas (MBG1, MBG2 y MBG3) cuando se hace pivotar sus parámetros.

En la Tabla 9-3 se evidencia el valor de probabilidad de las muestras de biochar obtenidas a partir de gallinaza (MBG1, MBG2 y MBG3) y biochar comercial mediante la prueba T-student. Todos los valores obtenidos son mayores a 0,05 ($p > 0,05$) (I Gregori, 2009) en todos sus parámetros, por lo que se acepta la hipótesis nula, determinando así que no existen diferencias significativas entre las medias de estos dos tipos de biochar.

Tabla 10-3. Valores de la prueba Mann-Whitney para la caracterización de biochar comercial vs biochar de lodos de depuradora

	Sig. Asintótica (bilateral)		
	MBLD1-BC	MBLD2-BC	MBLD3-BC
Validación completa	0,310	0,270	0,310
NT = 0	0,427	0,377	0,377
P₂O₅ = 0	0,536	0,480	0,536
K₂O = 0	0,480	0,427	0,480
CaO = 0	0,596	0,536	0,596
MgO = 0	0,536	0,480	0,536
CO = 0	0,251	0,216	0,251
C/N = 0	0,216	0,216	0,251
pH = 0	0,251	0,216	0,289
CE = 0	0,659	0,659	0,659

Realizado por: Fernández, V. y López, A. (2018)

Los valores esperados para una distribución normal están dados con relación a la distribución establecida. Si el valor p es mayor a 0.05 ($p > 0.05$), entonces se considera que la distribución es normal (Johnson & Kubby, 2008). En la Tabla 10-3, se observan que todos los valores de significancia son mayores a este valor, incluso si uno de los parámetros de las muestras de biochar de lodos de depuradora y del biochar comercial se vuelve cero, por lo que se considera que esta distribución es normal.

Tabla 11-3. Valores de la prueba T-student para biochar comercial vs biochar de lodos de depuradora

	Sig. Asintótica (bilateral-p)		
	MBLD1-BC	MBLD2-BC	MBLD3-BC
Validación completa	0,630	0,761	0,667
NT = 0	0,628	0,760	0,668
P₂O₅ = 0	0,628	0,759	0,664
K₂O = 0	0,629	0,761	0,667
CaO = 0	0,624	0,755	0,661
MgO = 0	0,627	0,758	0,664
CO = 0	0,987	0,869	0,945
C/N = 0	0,877	0,771	0,864
pH = 0	0,641	0,771	0,678
CE = 0	0,177	0,177	0,188

Realizado por: Fernández, V. y López, A. (2018)

Una vez que los valores del biochar comercial y el biochar de lodos de depuradora presentan una distribución normal, se aplicó la prueba T-student y se determinó si existen diferencias entre el biochar comercial y el biochar obtenido de lodos de depuradora (MBLD1, MBLD2 y MBLD3) cuando uno de sus parámetros es cero.

En la Tabla 11-3 se evidencia el valor de probabilidad de las muestras de biochar obtenidas a partir de lodos de depuradora (MBLD1, MBLD2 y MBLD3) y biochar comercial mediante la prueba T-student. Los valores presentados en su totalidad son mayores a 0,05 ($p > 0,05$) (I Gregori, 2009) para todos los parámetros, por lo que se acepta la hipótesis nula, determinando que no existen diferencias significativas de las medias entre estos dos tipos de biochar.

3.6.2. Prueba Chi-Cuadrado.

Se aplicó la prueba Chi-Cuadrado con la ayuda del programa IBM SPSS 19, para determinar si existen diferencias entre los parámetros antes y después de aplicar el tratamiento de pirólisis.

Debido a que, para poder llegar a una decisión sobre la independencia de dos criterios en una población, generalmente se analiza los datos de una muestra y se concluye acerca de la población a partir de los resultados de la muestra. Para este tipo de problemas, la técnica que más se emplea es la descrita anteriormente (Hernández, 2006, p. 187).

Tabla 12-3. Valores de correlación de variables de residuos avícolas antes y después de aplicar el tratamiento de pirólisis

RESIDUOS AVÍCOLAS			
PARÁMETROS	Significancia asintota bilateral (Antes-Después del tratamiento)		
	MG1-MBG1	MG1-MBG2	MG1-MBG3
NT	0,199	0,306	0,306
P₂O₅	0,306	0,306	0,306
K₂O	0,306	0,306	0,306
CaO	0,306	0,306	0,306
MgO	0,306	0,306	0,306
SO₃	0,306	0,306	0,306
MO	0,306	0,306	0,306
Cenizas	0,306	0,306	0,306
Humedad	0,306	0,306	0,306
CO	0,306	0,306	0,306
C/N	0,306	0,306	0,306
pH	0,306	0,306	0,306
CE	0,306	0,306	0,306

Realizado por: Fernández, V. y López, A. (2018)

En la Tabla 12-3, se representan los niveles de significancia resultantes del análisis estadístico Chi-cuadrado, los cuales indican la comparación entre los parámetros de la biomasa (MG1) y las muestras de biochar (MBG1, MBG2, MBG3) del antes y después de aplicar el tratamiento (pirólisis).

Los resultados arrojados 0,199 para NT en la comparación de biomasa (MG1) y biochar de residuos avícolas 1 (MBG1) es mayor a 0,05. De esta manera, en el resto de parámetros y pruebas el nivel de significancia resultó 0,306 lo que determina que, no existen diferencias estadísticas antes y después de aplicar el proceso de pirólisis con una confianza del 95% ($p > 0,05$) (Hernández, 2006, p. 191).

Tabla 13-3. Valores de correlación de variables de lodos de depuradora antes y después de aplicar el tratamiento de pirólisis

LODOS DE DEPURADORA			
PARÁMETROS	Significancia asíntota bilateral (Antes-Después del tratamiento)		
	MLD1-MBLD1	MLD1-MBLD2	MLD1-MBLD3
NT	0,199	0,306	0,306
P₂O₅	0,306	0,306	0,306
K₂O	0,306	0,199	0,306
CaO	0,306	0,306	0,306
MgO	0,306	0,306	0,306
SO₃	0,306	0,306	0,306
MO	0,306	0,306	0,306
Cenizas	0,306	0,306	0,306
Humedad	0,306	0,306	0,306
CO	0,306	0,306	0,306
C/N	0,306	0,306	0,306
pH	0,306	0,306	0,306
CE	0,306	0,306	0,306

Realizado por: Fernández, V. y López, A. (2018)

En la Tabla 13-3 se presentan los niveles de significancia resultantes del análisis estadístico Chi-cuadrado, los cuales indican la comparación entre los parámetros de la biomasa (MLD1) y las muestras de biochar (MBLD1, MBLD2, MBLD3) del antes y después de aplicar el tratamiento (pirólisis).

La correlación de variables de residuos avícolas antes y después de aplicar el tratamiento de pirólisis, los resultados arrojados 0,199 para K en la comparación de biomasa (MLD1) y biochar de lodos de depuradora 2 (MBLD2) es mayor a 0,05. De esta manera, en el resto de parámetros y pruebas, el nivel de significancia resultó 0,306 lo que determina que, no existen diferencias estadísticas antes y después de aplicar el proceso de pirólisis con una confianza del 95% ($p > 0,05$) (Hernández, 2006, p. 191).

3.6.3. *Modelo Lineal General Multivariante.*

Se utilizó el Modelo Lineal General Multivariante que indica si existe una diferencia estadísticamente significativa, esto es cuando los valores de p son menores a 0,05 (I Gregori, 2009) entre los dos tipos de biochar y además, mediante gráficos muestra cuál de ellos tiene mayores valores en la caracterización físico-química.

El análisis multivariante es el segmento de la estadística y del análisis de datos que estudia, analiza, representa e interpreta los datos que resultan de observar más de una variable estadística sobre una muestra. En el análisis multivariante la información estadística consiste en matrices de similitudes, que miden el grado de incompatibilidad entre las muestras (Cuadras, 2014, p. 13).

Tabla 14-3. Prueba de los efectos inter-sujetos

Origen	Variable dependiente	Suma de cuadrados tipo III	gl*	Media cuadrática	F**	Sig.***
Método	NT	6,183	1	6,183	28,000	,000
	P ₂ O ₅	94,315	1	94,315	1228,273	,000
	K ₂ O	83,411	1	83,411	1407,401	,000
	CaO	786,731	1	786,731	2335,101	,000
	MgO	8,937	1	8,937	2902,792	,000
	SO ₃	2,472	1	2,472	215,130	,000
	MO	5919,445	1	5919,445	35,770	,000
	Cenizas	12416,779	1	12416,779	174,255	,000
	Humedad	1519,475	1	1519,475	220,333	,000
	CO	2719,040	1	2719,040	1071,565	,000
	C/N	293,062	1	293,062	26,918	,000
	pH	4,712	1	4,712	28,322	,000
	CE	4149101,018	1	4149101,018	20,579	,000

*grados de libertad

** Prueba de Fisher

*** nivel de significación

Realizado por: Fernández, V. y López, A. (2018)

En la Tabla 14-3 se indican los valores de significancia (Sig.) igual a 0,000, los cuales son menores a 0,05 en todos los parámetros (muestras dependientes) por lo que, se decide que entre las muestras de biochar de gallinaza (MBG1, MBG2, MBG3) y biochar de lodos de depuradora (MBLD1, MBLD2, MBLD3) existen diferencias, evidentemente por el tipo de materia prima utilizada en el proceso.

Las diferencias determinadas mediante el Modelo Lineal General Multivariante, se representan mediante gráficas, indicando la relación entre las medias marginales estimadas de los parámetros y sus valores más altos. Estos parámetros son graficados en el eje X y el tipo de biomasa aplicada en el eje Y; la línea marca la diferencia existente entre las concentraciones de cada uno de estos parámetros de las muestras de biochar de residuos avícolas y las de biochar de lodos de depuradora.

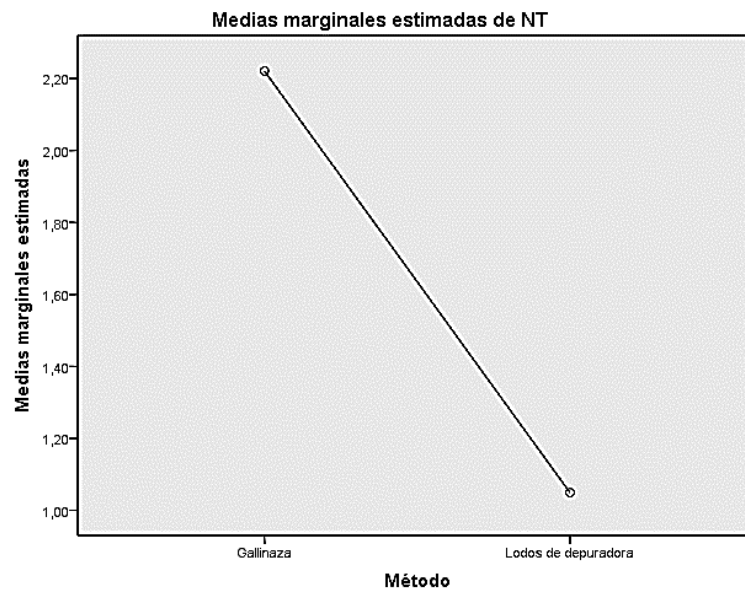


Gráfico 1-3. Contenido de NT en el biochar de residuos avícolas vs en el biochar de lodos de depuradora
Realizado por: Fernández, V. y López, A. (2018)

En la Gráfica 1-3 se observa que el contenido de nitrógeno total (NT) es mayor en las muestras del biochar obtenidas de residuos avícolas que en las de biochar de lodos de depuradora.

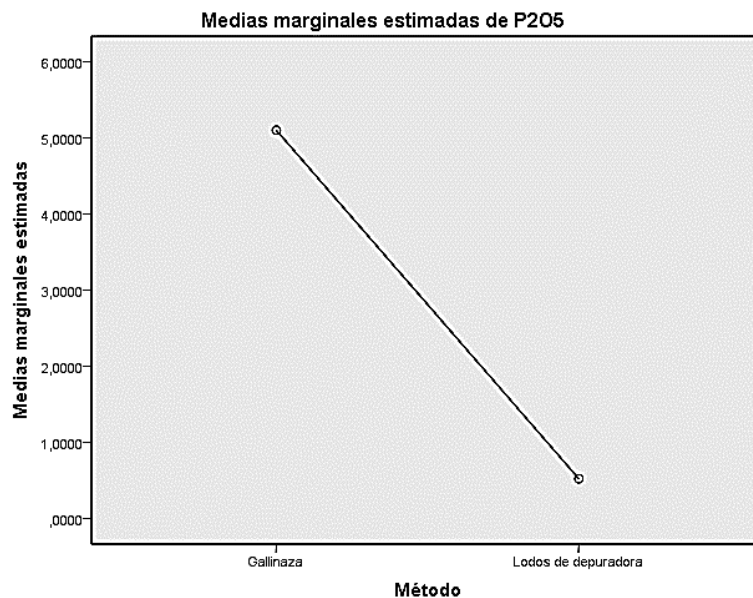


Gráfico 2-3. Contenido de P₂O₅ en el biochar de residuos avícolas vs en el biochar de lodos de depuradora.
Realizado por: Fernández, V. y López, A. (2018)

En la Gráfica 2-3 se observa que el contenido de fósforo (P₂O₅) es mayor en las muestras del biochar obtenidas de residuos avícolas que en las de biochar de lodos de depuradora.

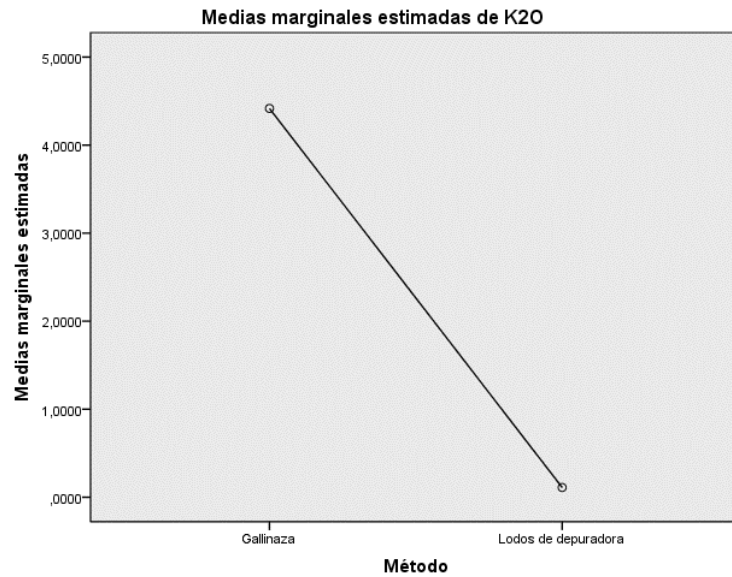


Gráfico 3-3. Contenido de K₂O en el biochar de residuos avícolas vs en el biochar de lodos de depuradora.
Realizado por: Fernández, V. y López, A. (2018)

En la Gráfica 3-3 se observa que el contenido de potasio (K₂O), es mayor en las muestras del biochar obtenidas de residuos avícolas que en las de biochar de lodos de depuradora.

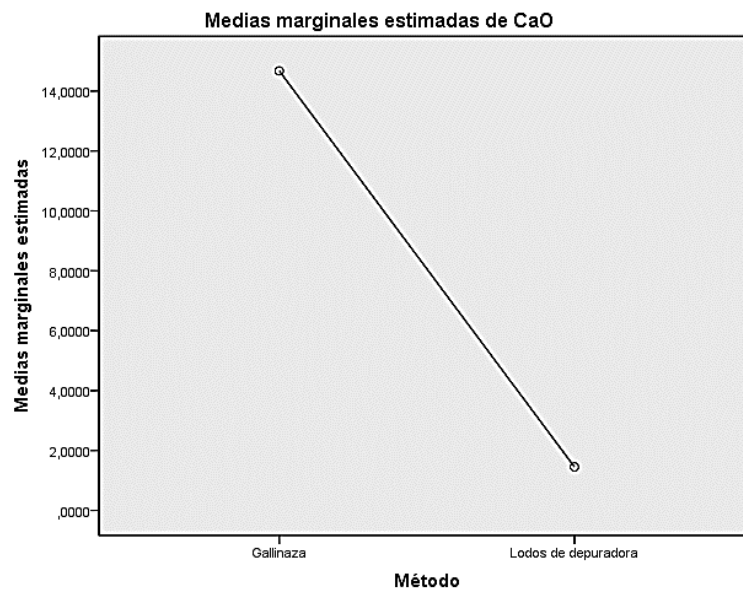


Gráfico 4-3. Contenido de Ca en el biochar de residuos avícolas vs en el biochar de lodos de depuradora.
Realizado por: Fernández, V. y López, A. (2018)

En la Gráfica 4-3 se observa que el contenido de calcio (CaO), es mayor en las muestras del biochar obtenidas de residuos avícolas que en las de biochar de lodos de depuradora.

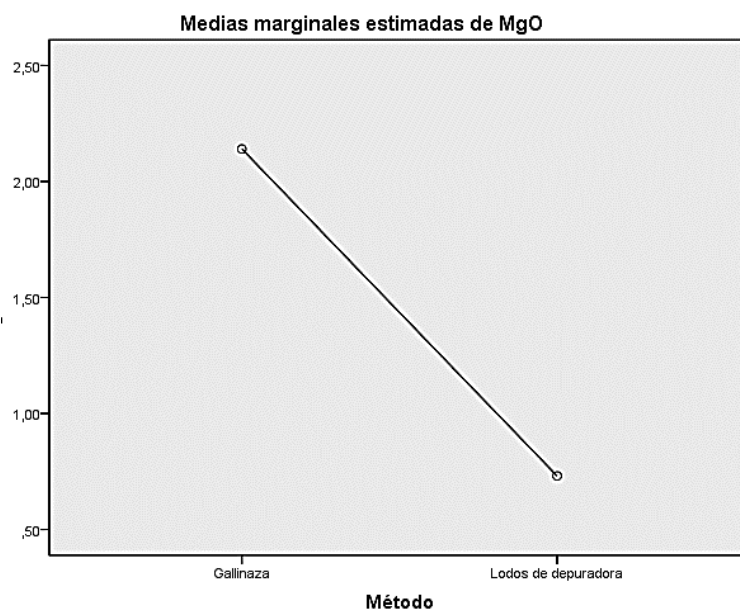


Gráfico 5-3. Contenido de MgO en el biochar de residuos avícolas vs en el biochar de lodos de depuradora.

Realizado por: Fernández, V. y López, A. (2018)

En la Gráfica 5-3 se observa que el contenido de magnesio (MgO) es mayor en las muestras del biochar obtenidas de residuos avícolas que en las de biochar de lodos de depuradora.

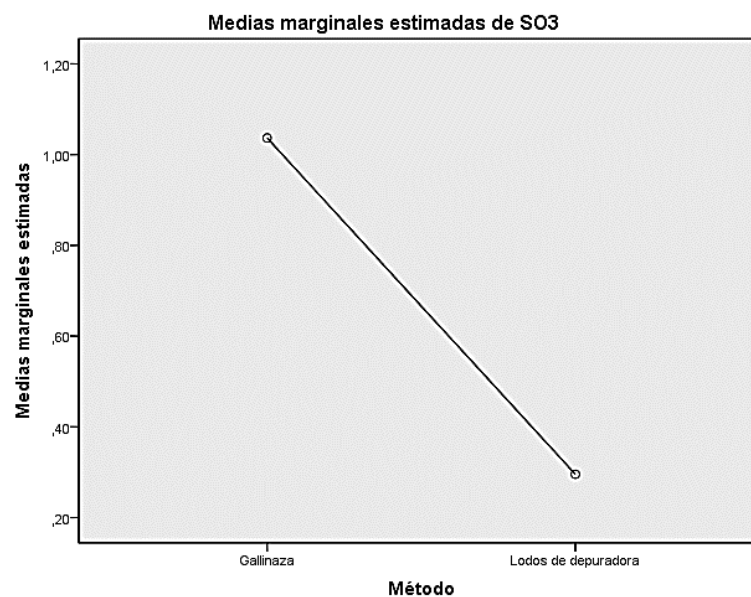


Gráfico 6-3. Contenido de SO₃ en el biochar de residuos avícolas vs en el biochar de lodos de depuradora.

Realizado por: Fernández, V. y López, A. (2018)

En la Gráfica 6-3 se observa que el contenido de azufre (SO₃), es mayor en las muestras del biochar obtenidas de residuos avícolas que en las de biochar de lodos de depuradora.

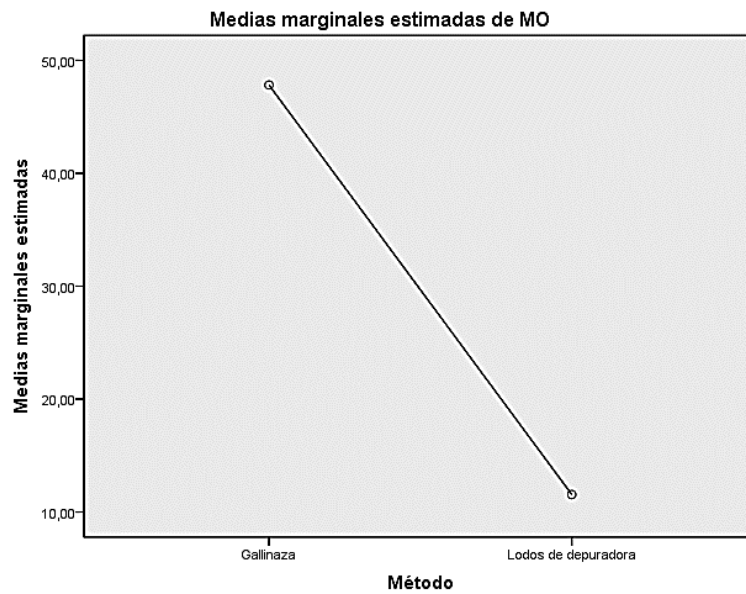


Gráfico 7-3. Contenido de MO en el biochar de residuos avícolas vs en el biochar de lodos de depuradora.
Realizado por: Fernández, V. y López, A. (2018)

En la Gráfica 7-3 se observa que el contenido de materia orgánica (MO), es mayor en las muestras del biochar obtenidas de residuos avícolas que en las de biochar de lodos de depuradora.

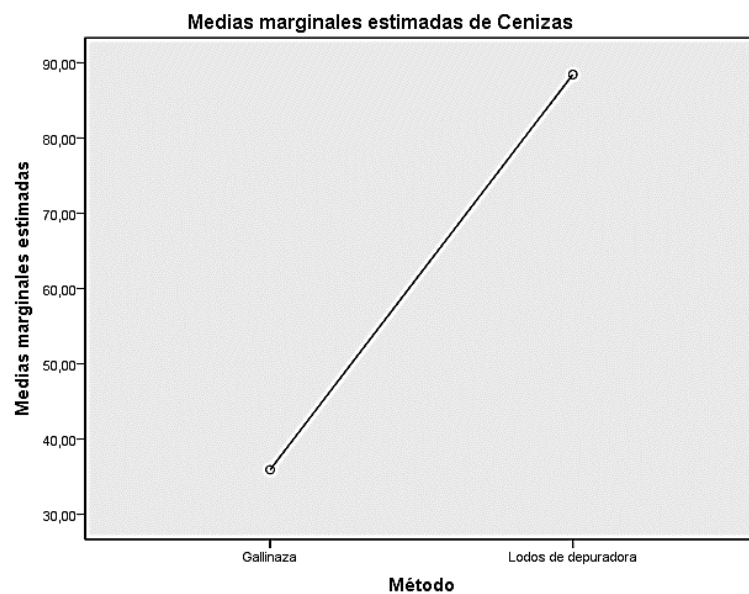


Gráfico 8-3. Contenido de cenizas en el biochar de residuos avícolas vs en el biochar de lodos de depuradora.
Realizado por: Fernández, V. y López, A. (2018)

En la Gráfica 8-3 se observa que el contenido de cenizas, es menor en las muestras del biochar obtenidas de residuos avícolas que en las de biochar de lodos de depuradora.

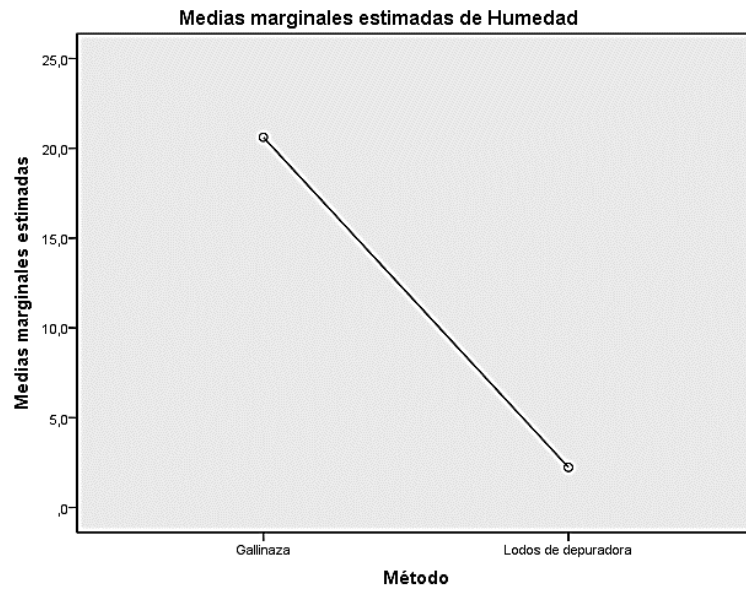


Gráfico 9-3. Humedad en el biochar de residuos avícolas vs en el biochar de lodos de depuradora.

Realizado por: Fernández, V. y López, A. (2018)

En la Gráfica 9-3 se observa que el porcentaje de humedad, es mayor en las muestras del biochar obtenidas de residuos avícolas que en las de biochar de lodos de depuradora.

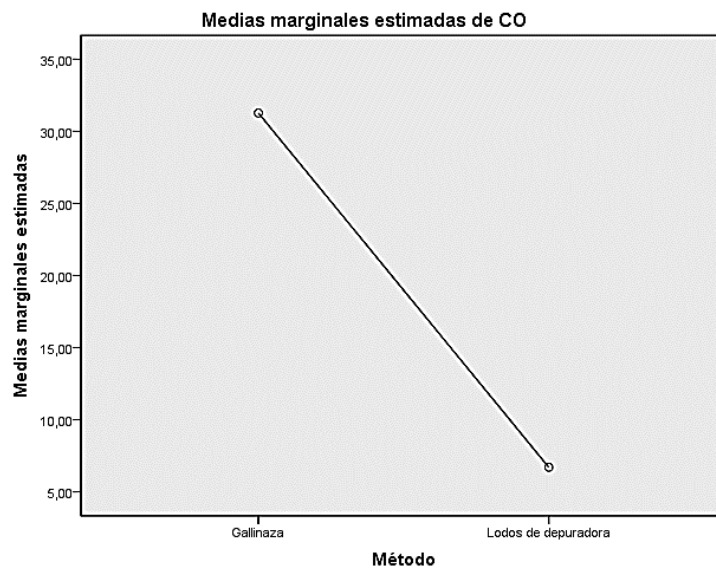


Gráfico 10-3. Contenido de Corg en el biochar de residuos avícolas vs en el biochar de lodos de depuradora.

Realizado por: Fernández, V. y López, A. (2018)

En la Gráfica 10-3 se observa que en contenido de carbono orgánico (CO), es mayor en las muestras del biochar obtenidas de residuos avícolas que en las de biochar de lodos de depuradora.

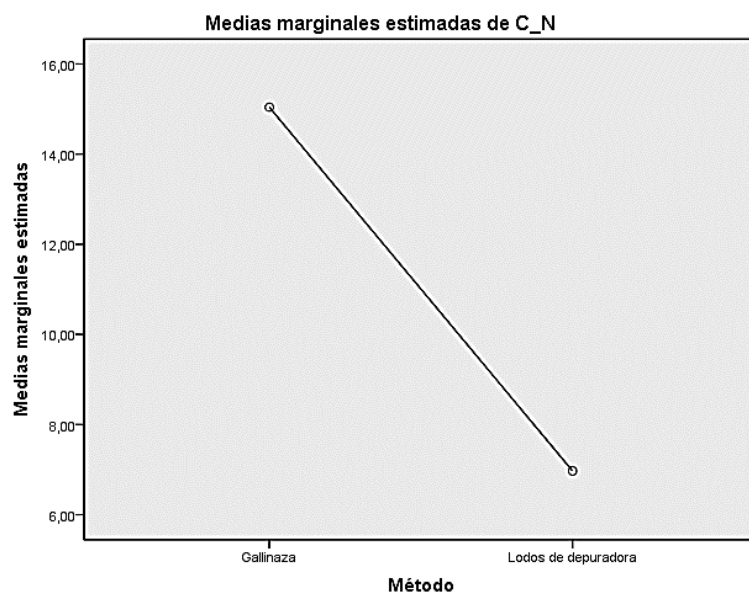


Gráfico 11-3. Relación C/N en el biochar de residuos avícolas vs en el biochar de lodos de depuradora.

Realizado por: Fernández, V. y López, A. (2018)

En la Gráfica 11-3 se observa que la relación C/N, es mayor en las muestras del biochar obtenidas de residuos avícolas que en las de biochar de lodos de depuradora.

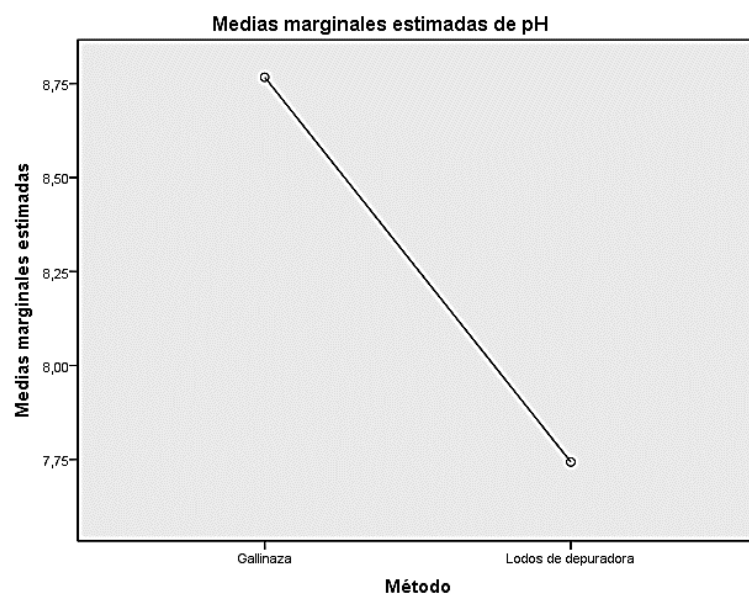


Gráfico 12-3. pH en el biochar de residuos avícolas vs en el biochar de lodos de depuradora.

Realizado por: Fernández, V. y López, A. (2018)

En la Gráfica de 12-3 se observa que el pH, es mayor en las muestras del biochar obtenidas de residuos avícolas que en las de biochar de lodos de depuradora.

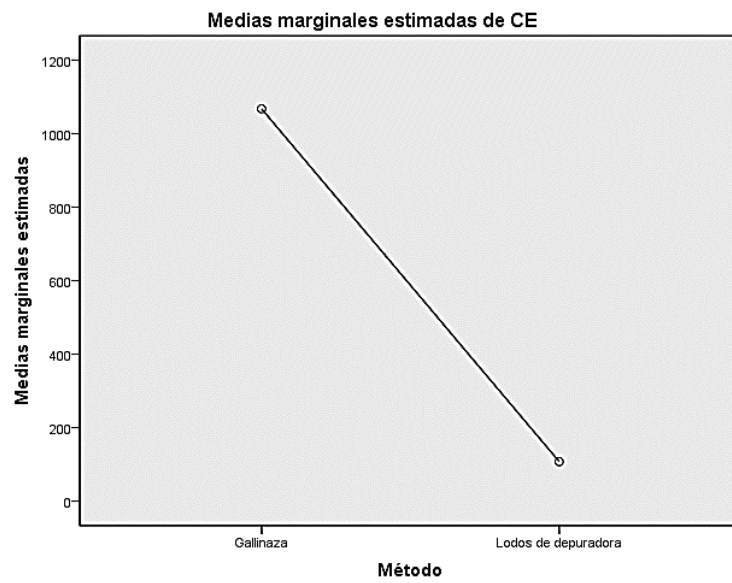


Gráfico 13-3. CE en el biochar de residuos avícolas vs en el biochar de lodos de depuradora.

Realizado por: Fernández, V. y López, A. (2018)

Finalmente, en la Gráfica 13-3 se observa que la conductividad eléctrica (CE) es mayor en las muestras del biochar obtenidas de residuos avícolas que en las de biochar de lodos de depuradora.

CONCLUSIONES

- La eficiencia se estableció mediante la evaluación de parámetros físico-químicos, lo que determinó que las muestras de biochar de residuos avícolas (MBG1, MBG2 y MBG3) y las muestras de biochar de lodos de depuradora (MBLD1, MBLD2 y MBLD3), son igual de eficientes que un biochar comercial proveniente de madera de encina para ser utilizada como una enmienda del suelo.
- Se estableció que las condiciones de operación para la producción de biochar obtenido de residuos avícolas y de biochar obtenido de lodos de depuradora sean de una temperatura óptima de $300^{\circ}\text{C}\pm 10^{\circ}\text{C}$, con un tiempo de residencia de 30 minutos, en una atmósfera sin oxígeno. Debido a las condiciones operacionales, al estado del reactor batch y el tipo de materia prima, la presión durante la producción de biochar de residuos avícolas fue 900 psi y BAUJAHR 315 psi en la producción de biochar de lodos de depuradora.
- Se caracterizaron parámetros físico-químicos de los residuos avícolas, los cuales presentaron contenidos de 39,20 %p/p para carbono orgánico; 3,61 %p/p para nitrógeno total; 3,1667 %p/p para fósforo; 2,6962 %p/p para potasio, con un pH de 7,60 y relación C/N de 10,86. El biochar obtenido de residuos avícolas (MBG1, MBG2 y MBG3) resultó con una concentración, para la muestra MBG1, de 29 %p/p para para Corg; 1,43 %p/p para NT; de 5,6011 %p/p para P; de 4,8433 %p/p para K, con un pH de 9,52 y relación C/N de 20,28. En la muestra MBG2, se determinó un contenido de 32,48 %p/p para Corg; de 2,62 %p/p para NT; de 4,9628 %p/p para P; de 4,0574 %p/p para K, con un pH de 8,35 y relación C/N de 12,37. En la muestra de MBG3, presenta concentraciones para Corg de 32,69 %p/p; NT de 2,62 %p/p; P de 4,7378 %p/p; K de 4,3469 %p/p, con un pH de 8,43 y relación C/N de 12,48.
- Por otro lado, se caracterizaron parámetros físico-químicos de los lodos de depuradora, los cuales presentaron contenidos de 9,99 %p/p para carbono orgánico; 1,04 %p/p para nitrógeno total; 0,3727 %p/p para fósforo de, 0,0927 %p/p para potasio, con un pH de 7,56 y relación C/N de 9,60. El biochar obtenido de residuos lodos de depuradora (MBLD1, MBLD2 y MBLD3) resultó con una concentración, para la muestra MBLD1 de 6,82 %p/p para Corg; 1,31 %p/p para NT; de 0,4478 %p/p para P; de 0,1127 %p/p para K, con un pH de 7,71 y relación C/N de 5,21. En la muestra MBLD2, se determinó un contenido de 6,51 %p/p para Corg; 1,16 %p/p para NT; 0,5602 %p/p para P; 0,1166

%p/p para K, con un pH de 7,75 y relación C/N de 5,61. En la muestra de MBLD3, presenta concentraciones para Corg de 6,76 %p/p; NT de 0,67 %p/p; P de 0,5594 %p/p; K de 0,1024 %p/p, con un pH de 7,76 y relación C/N de 10,09. Los valores de la caracterización de los dos tipos de biochar están relacionados con el tiempo de calentamiento de la materia prima y temperatura en el reactor debido a que siempre habrá pérdida en el contenido de carbono por la salida de los gases de combustión como el CO₂ y CO del equipo pirolizador.

- Al realizar la validación externa mediante T-student se determinó que no existe un elemento pivote es decir, no existen diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las muestras de biochar de residuos avícolas y muestras de biochar de lodos de depuradora respecto a un biochar comercial proveniente de madera de encina, ya que los valores de significancia (sig.) son mayores a 0.05.

RECOMENDACIONES

El porcentaje de humedad de la biomasa seleccionada debe ser bajo, menor a 50%, para obtener condiciones de trabajo óptimas dentro del equipo y que, el proceso de pirólisis empiece inmediatamente.

Considerar este estudio como referencia para futuras investigaciones como en la aplicación del biochar y determinar su comportamiento en el suelo.

Utilizar un equipo que proporcione mejores condiciones a la biomasa, como el aumento de la velocidad de calentamiento y enfriamiento, soporte de temperaturas más elevadas y mayor capacidad del reactor. Asimismo, hacer uso de un equipo que permita separar los productos de la pirólisis; biochar, bioaceite y gases condensados.

Investigar con otros residuos ricos en carbono orgánico para que el biochar obtenido del proceso de pirólisis, presente altos contenidos del mismo.

BIBLIOGRAFÍA

ABAD, M. et al. “Los sustratos para el semillero hortícola”. En: *Compendios de horticultura*. [en línea]. s.l.:Planteles, 1999, pp. 59-68. [Consulta: 10 febrero 2018]. Disponible en: <http://www.horticom.com/pd/imagenes/51/768/51768.pdf>

ABENZA, Daniel Paco. *Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta* [en línea] (tesis).(Licenciatura) Universidad Autonoma de Barcelona, Bellaterra, España. 2012. pp 14-23 . [Consulta: 23 noviembre 2017]. Disponible en: https://ddd.uab.cat/pub/trerepro/2012/hdl_2072_202695/PFC_DanielPacoAbenza.pdf

AGEGNEHU, G. et al. "The role of biochar and biochar-compost in improving soil quality and crop performance: A review ". *Applied Soil Ecology* [en línea], 2017, (Australy), Vol. 119, pp. 156-170. [Consulta 21 mayo 2017]. ISSN 0929-1393. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139316304954>

AGRUPACIÓN DE EMPRESAS DE ALIMENTACIÓN. *Pirólisis* [en línea]. AGRUPAL: 2013. [Consulta 20 enero 2018]. Disponible en: <http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/PIROLISIS.pdf>

AGUILERA, S.M. Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos [en línea] (tesis). Universidad de Chile, Santiago, Chile. 2000. pp. 77–85. [Consulta: 12 septiembre 2017].Disponible en: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/121065/Suelos_AGUILERA_2000.pdf?sequence=1&isAllowed=y

AHUJA, P. et al. “Kinetics of biomass and sewage sludge pyrolysis: Thermogravimetric and sealed reactor studies”. *Indian Journey Of Chemical Tecnology* [en línea]: 1996, (India), 3, pp. 306-312. 1996. [Consulta: 23 noviembre 2017]. Disponible en: <http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/31049/1/IJCT%203%286%29%20306-312.pdf>

AKER, C., et al. "Efecto de la aplicación de biocarbón, gallinaza y fertilizantes sintéticos en la retención de humedad y otras características de suelo en el rendimiento de maíz (*Zea mays*), en tres texturas de suelo en León, Nicaragua". *CATIE* [en línea], 2014, (Costa Rica), 7(1), pp. 15-31. [Consulta: 15 octubre 2017]. Disponible en: https://likedoc.org/the-philosophy-of-money.html?utm_source=vii-articulo-1-efecto-de-la-aplicacion-de-biocarbon-gallinaza-y

AMBIENTUM. *Ambientum: residuos agrícolas, forestales y ganaderos* [en línea]. 2015. [Consulta: 25 abril 2018]. Disponible en: http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/energia/Residuos_agricolas_y_forestales.asp#

AMBIENTUM. *Suelos y residuos: relación carbono-nitrógeno.* [en línea]. 2015, Ambientum. [Consulta: 20 enero 2018]. Disponible en: http://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/relacion_carbono_nitrogeno.asp

ANTAL, M. & GRØNLI, M. "The art, science, and technology of charcoal production". *Industrial Engineering Chemistry Research* [en línea], 2003, 42(8), pp. 1619-1640. DOI 10.1021/IE0207919. [Consulta: 10 febrero 2018]. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie0207919>

ARROYO N. *Enmiendas orgánicas* [blog]. 29 noviembre, 2009. [Consulta: 06 febrero 2018]. Disponible en: <http://enmiendasorganicas.blogspot.com/>

ARTEAGA, J. C. et al. "Biofuels production by fast pyrolysis of palm oil wastes (*Elaeis guineensis* Jacq.)". *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* [en línea], 2012, (Popayán), 10(2), pp. 144 - 151. [Consulta: 21 marzo 2018]. ISSN 1692-3561.

BARBA, L.E. *Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición* [en línea]. Universidad de Cali: Colombia, BVSED, 2002. [Consulta: 06 febrero 2018] Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/conceptos.pdf>

BASU, P. *Biomass gasification, pyrolysis and torrefaction* [en línea]. 2da Edición. Dalhousie University, London-UK, Practical Design & Theory, 2013. [Consulta: 03 septiembre 2018].

Disponible en:

<https://books.google.com.ec/books?id=2G0SaWM80oC&printsec=frontcover&dq=Biomass+gasification,+pyrolysis+and+torrefaction&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwiT8cuE7urZAhUDLqwKHQV4BsYQ6AEIKTAA#v=onepage&q=Biomass%20gasification%2C%20pyrolysis%20and%20torrefaction&f=false>

BEESEY, L. & MARMIROLI, M. "The immobilisation and retention of soluble arsenic, cadmium and zinc by biochar". *Environmental Pollution* [en línea], 2011, (Italy), vol 159, n° (2), pp. 474-480. [Consulta: 13 enero 2018]. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749110004720?via%3Dihub>

BRAMER, E.A., & BREM, G. "A novel technology for fast pyrolysis of biomass: Pyros reactor". *Thermal Engineering* [en línea]. 2001 (Amsterdam), pp.1-2. [Consulta: 17 agosto 2017]. ISBN 88-900442-5-X. Disponible en: <http://infohouse.p2ric.org/ref/35/34254.pdf>

BRIDGWATER, A. et al. "An overview of fast pyrolysis of biomass". *Organic Geochemistry* [en línea], 1999, (England), 30(12), pp. 1479-1493. [Consulta: 25 abril 2018]. ISSN 0146-6380. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0146638099001205>

BUYANOVSKY, G.A., et al. "Carbon turnover in soil physical fractions". *ACSESS*. [en línea], 1994, 58 (4), pp. 1167-1173. [Consulta: 28 noviembre 2017].

DOI 10.2136/sssaj1994.03615995005800040023x. Disponible en:

<https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/abstracts/58/4/SS0580041167>

CABALLERO, J.A. et al. "Characterization of sewage sludges by primary and secondary pyrolysis". *Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis* [en línea], 1997, (España), 40-41, pp. 433-450. [Consulta: 24 noviembre 2017]. ISSN 016S-2370. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165237097000454>

CASTELLS, X.E., *Tratamiento y valoración energética de residuos* [en línea]. Universidad de Cataluña, Barcelona-España: Días de Santos, 2012 [Consulta: 12 diciembre 2017]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=KBTPxIi6IRsC&printsec=frontcover&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

CASTRO, M. Evaluación de alternativas para la depuración de aguas residuales de la estación depuradora de aguas residuales (EDAR) del municipio de Villaluenga del Rosario (Cádiz) [en línea]. (Pregrado) Universidad de Cádiz, Cádiz, España, 2017. pp. 11-13. [Consulta: 10 agosto 2017]. Disponible en: <http://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/20079/927389.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CEPIS-OPS. *Operación y mantenimiento del lecho de secado* [en línea]. OMS, BVSDE, Mayo, 2005. [Consulta: 06 febrero 2018]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/029505/029505-10.pdf>

CHAN, K.Y. & XU, Z. *Biochar for environmental management science and technology* [en línea]. London, UK: Earthscan from Routledge, 2009. [Consulta: 12 agosto 2017]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=iqrksCPT1kC&oi=fnd&pg=PA67&dq=Biochar:+nutrient+properties+and+their+enhancement&ots=FObFnF6Yzp&sig=F8e84BYZnHL6ynhKN8CDtg6G54#v=onepage&q=Biochar%3A%20nutrient%20properties%20and%20their%20enhancement&f=false>

COLANTONI, A., et. al. "Characterization of biochars produced from pyrolysis of pelletized". *Renewable And Sustainable Energy Reviews* [en línea], 2016, vol 64, pp. 187-193. [Consulta: 15 septiembre 2017]. ISSN 1364-0321. Disponible en : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116302192>

CUADRAS, C. M. *Nuevos métodos de análisis multivariante* [en línea]. Barcelona, España: CMC Editions, 2014. [Consulta: 02 febrero 2018]. Disponible en: <http://www.ub.edu/stat/personal/cuadras/metodos.pdf>

CUETO, M. Potencial de producción de biochar en España a partir de residuo de la industria papelera, de lodos EDAR, de residuos sólidos urbanos y de residuos ganaderos: Estudio de la fijación de carbono [en línea]. (Licenciatura) Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. 2016. pp. 9-13, 15-18, 24-29. [Consulta: 30 enero 2018]. Disponible en: http://oa.upm.es/39453/1/MARIA_JESUS_CUETO_GARCIA.pdf

CUI, H.-J. et al. 2011. “Enhancing phosphorus availability in phosphorus-fertilized zones by reducing phosphate adsorbed on ferrihydrite using rice straw-derived biochar”. *Journal Of Soils And Sediments*. [En línea], 2011, 11(7), pp. 1135-1141. DOI: 10.1007/s11368-011-0405-9. [Consulta: 18 enero 2018]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/226504904_Enhancing_Phosphorus_Availability_in_PhosphorusFertilized_Zones_by_Reducing_Phosphate_Adsorbed_on_Ferrihydrite_Using_Rice_Straw-Derived_Biochar

CURIEL, M. Caracterización de residuos de la vid transformados en biochar [En línea] (tesis). (Pregrado) Universidad de Valladolid, Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias, Palencia, España. 2016. pp. 2-4, 6-7 y 11-12. [Consulta: 12 agosto 2017]. Disponible en: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/18893/1/TFG-L%201310.pdf>

DA SILVA, B. et al. “Biochar from different residues on soil properties and common bean production”. *Scientia Agricola*. [en línea], 2017, (Brazil), 74(5), pp. 378-382. [Consulta: 15 enero 2018]. ISSN 1678-992X. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162017000500378

DALAHMEH, S. et al. “Potential of biochar filters for onsite sewage treatment: Adsorption and biological degradation of pharmaceuticals in laboratory filters with active, inactive and no biofilm”. *Science of the Total Environment*. [en línea], 2018, 612, pp. 192-201. [Consulta: 05 febrero 2018]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717321769>

DE OLIVEIRA MIRANDA, N. et al. “Biochar as soil conditioner in the succession of upland rice and cowpea fertilized with nitrogen”. *Revista Caatinga* [en línea], 2017, 30(2), pp. 313-323. ISSN 1983-2125. [Consulta: 15 febrero 2018]. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-21252017000200313

DEMIRBAS, A. “Combustion characteristics of different biomass fuels”. *Progress in energy and combustion science* [En línea]. 2004 (Turkey) 30(2), pp. 219-230. [Consulta: 08 enero 2018]. ISSN 0360-1285 Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360128503000789>

DEMIRBAS, Ayhan. "Effects of temperature and particle size on bio-char yield from pyrolysis of agricultural residues". *Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis* [en línea], 2004 (Turkey), 2 (72), pp. 243-248. [Consulta: 15 septiembre 2017]. DOI 10.1016/j.jaap.2004.07.003. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165237004000646>

DI BLASI, et al. “Product distribution from pyrolysis of wood and agricultural residues”. *Industrial & Engineering Chemistry Research* [En línea]. 1999, (Italy) 38(6), pp. 2216-2224. [Consulta: 13 septiembre 2017]. ISSN 2116-2224. Disponible en:
<https://es.scribd.com/document/236478491/Product-Distribution-From-Pyrolysis-of-Wood-and-Agricultural-Residues>

DUTSCHKE, M. et al. *Risk and chances of combined forestry and biomass projects under the clean development mechanism.* [En línea] s.l.: UNEP RISO CENTER, 2006. Disponible en:
<https://www.uncclean.org/sites/default/files/inventory/unep73.pdf>

ED BLOODNICK. *Rol del potasio en el cultivo de las plantas* [En línea]. PROMIX, 2007. [Consulta: 20 enero 2018]. Disponible en:
<https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/rol-del-potasio-en-el-cultivo-de-plantas/>

ESCALANTE, A., et al. "Biocarbón (Biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo". *Terra Latinoamerica* [en línea], 2016, (México), 34(3), pp. 367-382. [Consulta: 03 junio 2017]. ISSN 2395-8030. Disponible en:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-57792016000300367&lng=es&nrm=iso

ESCALONA, E. 2014. “Daños a la salud por mala disposición de residuales sólidos y líquidos en Dili Timor Leste”. *Rev Cubana de Higiene y Epidemiología.* [en línea], 2014, 52(2), pp. 270-

277. ISSN 0253-1751. [Consulta: 08 febrero 2018]. Disponible en:
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223237143011>

ESTRADA, M. M. “Manejo y Procesamiento de la gallinaza”. *Revista Lasallista de Investigación*. [en línea], 2005, 2(1), pp. 43-48. ISSN 1794-4449. [Consulta: 15 Enero 2018].
Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/695/69520108.pdf>

FAO & ASOCIACIÓN DE INTERNACIONAL DE LA INDUSTRIA DE LOS FERTILIZANTES. *Fertilizantes y su uso* [en línea]. París- Francia. 2002. 4ta ed. [Consulta: 21 diciembre 2017]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>

FERNÁNDEZ, M. C. Caracterización de residuos de vid transformados en biochar [en línea] (tesis). (Pregrado) Universidad de Valladolid, Valladolid, España. 2016. pp. 2, 8-10 y 21-23. [Consulta: 16 noviembre 2017]. Disponible en:
<https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/18893/1/TFG-L%201310.pdf>

FERNÁNDEZ, Y. Tratamientos térmicos asistidos con microondas en procesos de valorización energética [en línea] (tesis). (Doctorado) Universidad de Oviedo, Oviedo, España. 2010. pp. 63-68, 89, 90-92, 95-96, 115 y 137. [Consulta: 08 enero 2018]. Disponible en:
<http://digital.csic.es/bitstream/10261/25033/1/Tesis%20Doctoral%202010.%20Yolanda%20Fernandez%20C3%A1ndez%20D%C3%ADez.pdf>

FOLLETT, R.F. & STEWART, B.A., *Soil erosion and crop productivity* [en línea]. American Society of Agronomy: Madison, USA. Wisconsin: Soil Science Society of America, 1985. [Consulta: 30 agosto 2018]. Disponible en:
<https://dl.sciencesocieties.org/.../pdfs/.../soilerosionandc/frontmatte>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *Estrategias en materia de fertilizantes*. [en línea]. Roma: FAO, 1989. Disponible en:
<http://www.fao.org/tempref/agl/agll/docs/fertstrs.pdf>

FUNDACIÓN HOGARES JUVENILES CAMPESINOS. *Manual de la granja integral integral autosuficiente* [en línea]. Fundación hogares juveniles campesinos, Bogotá, Colombia: San Pablo. 2004. [Consulta: 21 noviembre 2017]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=r_UteWRobqkC&pg=PA2&lpg=PA2&dq=Fundaci%C3%B3n+Hogares+Juveniles+Campesinos,+2004.+MANUAL+DE+LA+GRANJA+INTEGRAL+INTEGRAL+AUTOSUFICIENTE.+Bogot%C3%A1,+Colombia:+San+Pablo.&source=bl&ots=klqbTGy_M1&sig=XXk8ECBG5B3l1fxI62of1nT_qqk&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjfbbi84XaAhVDwIkKHQSPDyMQ6AEIJTAA#v=onepage&q=Fundaci%C3%B3n%20Hogares%20Juveniles%20Campesinos%2C%202004.%20MANUAL%20DE%20LA%20GRANJA%20INTEGRAL%20INTEGRAL%20AUTOSUFICIENTE.%20Bogot%C3%A1%2C%20Colombia%3A%20San%20Pablo.&f=false

GALVIS, J Y RIVERA, X. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos presentes en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (PTARI) de la empresa jugos hit de la ciudad de Pereira. [en línea] (Tecnología). Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia. 2013, p 17. [Consulta: 12 de octubre 2017]. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/3898/62839G182.pdf?sequence=1>

GARCÍA, C. et al. *Capítulo 1: Producción de biochar mediante tecnología de pirólisis.* En: de Residuos a recurso: enmiendas orgánicas de la nueva generación: biochar y otras biomoléculas. [en línea]. 2014. España: Mundi-Prensa, pp. 15-45.. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=JBINBQAAQBAJ&pg=PR3&dq=Producci%C3%B3n+de+biochar+mediante+tecnología+de+pir%C3%B3lisis.&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjTwLT7y8raAhUF3FMKHQrEDU4Q6AEIJjAA#v=onepage&q=Producci%C3%B3n%20de%20biochar%20mediante%20tecnología%20de%20pir%C3%B3lisis.&f=false>

GARDI, C. *Suelos y cambio climático en LAC* [en línea]. Atlas de suelos de América Latina y el Caribe. [Consulta: 12 octubre 2017]. Disponible en http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/Library/Maps/LatinAmerica_Atlas/Download/134.pdf

GASKIN, J. et al. “Effect of low-temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use”. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* [en línea], 2008, (Michigan), 51(6), pp. 2061-2069. [Consulta: 21 marzo 2018]. ISSN 0001-2351. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/237079730_Effect_of_LowTemperature_Pyrolysis_Conditions_on_Biochar_for_Agricultural_Use

GASKIN, J., et al. “Potential for pyrolysis char to affect soil moisture and nutrient status of a loamy sand soil”. *Georgia Water Resources Conference* [en línea]. University of Georgia: 2007, pp. 27-29 [Consulta: 13 enero 2018]. Disponible en:
https://smartech.gatech.edu/bitstream/handle/1853/48168/Gaskin_5.7.4.pdf?sequence=1&isAllowed=y

GHISOLFI, E., *Contenidos de materia orgánica: Relación con la fertilidad del suelo en siembra directa* [en línea], Villa María, Córdoba, Argentina: Eduvim. 2011. [Consulta: 05 agosto 2017]. Disponible en:
https://books.google.com.ec/books?id=pjIXZCMxvawC&printsec=frontcover&hl=es&source=gb_s_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

GIBERT, P. M. *Gallinaza* [en línea]. Asunción. Paraguay: 2010. [Consulta: 06 febrero 2018]. Disponible en: <http://www.abc.com.py/articulos/gallinaza-174819.html>

GÓMEZ, L. A. et al. “Biochar como enmienda en un oxisol y su efecto en el crecimiento de maíz”. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* [en línea], 2016, (Colombia) 19(2), pp. 341-349. [Consulta: 10 enero 2017]. ISSN 0123-4226. Disponible en:
<http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v19n2/v19n2a11.pdf>

GRAU, M. & SÁENZ, M . *Riesgos ambientales en la industria* [en línea]. Madrid, España: Universidad Nacional de Educación a Distancia UNED, 2010. [Consulta: 19 abril 2018]. Disponible en:
<https://books.google.com.ec/books?id=s6H7BKPBpPAC&pg=PA315&dq=residuos+forestales+pdf&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwimzZ-WpOfaAhXO3VMKHRo8DCsQ6AEIQjAG#v=onepage&q=residuos%20forestales%20pdf&f=false>

GRAUD R., M. & GRAU S., M. *Riesgos ambientales en la industria.* [en línea]. Madrid, España: UNED, 2010. [Consulta: 20 abril 2018]. Disponible en:
<https://books.google.com.ec/books?id=s6H7BKPBpPAC&printsec=frontcover&dq=Riesgos+a>

mbientales+en+la+industria&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwisyLe51
jaAhUNvFkKHUCgArkQ6AEIJjAA#v=onepage&q=Riesgos%20ambientales%20en%20la%20
industria&f=false

GREGÒRI, S. P. *Valores educativos y convivencia* [en línea]. Alicante, España: Editorial Club Universitario, 2009. [Consulta: 18 octubre 2017]. Disponible en: <https://www.editorial-club-universitario.es/pdf/3273.pdf>

GUERRERO, F. & POLO, A. *Ecología: Uso, aplicaciones y evaluación de turbas* [en línea], 4ta. Edición., Madrid, España: ICONA, 1990. [Consulta: 21 diciembre 2017]. Disponible en: <http://studylib.es/doc/7854482/usuarios--aplicaciones-y-evaluacion-de-turbas>

HEALTH CARE WITHOUT HARM. *Pirólisis, una técnica de tratamiento térmico no tradicional* [en línea], Washington, DC: 2008. [Consulta: 25 agosto 2017]. Disponible en: <http://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/other/pir-lisis-una-tecnica-de-trat.pdf>

HERNÁNDEZ, E., *Manual de estadística* [en línea]. Bogotá, Colombia: Universidad Cooperativa de Colombia, 2006 [Consulta: 28 enero 2018]. Disponible en [https://books.google.com.ec/books?id=vahon_YRn6QC&pg=PA2&lpg=PA2&dq=Manual+de+estad%C3%ADstica+Universidad+Cooperativa+de+Colombia+\(Educc\).&source=bl&ots=ZepQS3_-kq&sig=tL-0sZPkBGX-s_RwzssF0nIqGvs&hl=es](https://books.google.com.ec/books?id=vahon_YRn6QC&pg=PA2&lpg=PA2&dq=Manual+de+estad%C3%ADstica+Universidad+Cooperativa+de+Colombia+(Educc).&source=bl&ots=ZepQS3_-kq&sig=tL-0sZPkBGX-s_RwzssF0nIqGvs&hl=es)
419&sa=X&ved=0ahUKEwicjPmZ4erZAhVEON8KHTJDDDsQ6AEIJjAA#v=onepage&q=Manual%20de%20estad%C3%ADstica%20Universidad%20Cooperativa%20de%20Colombia%20(Educc).&f=false.

HOSSAIN, M. K. et al. "Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar" *Journal of Environmental Management* [en línea], 2011, (Australia), 92(1), pp. 223-228. [Consulta: 25 agosto 2017]. ISSN 0301-4797 Disponible en: <https://sci-hub.tw/https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479710002938>

HUNG, C.-Y. et al. “Characterization of biochar prepared from biogas digestate”. *Waste Management* [en línea], 2017, (Taiwan), 66, pp. 53-60. [Consulta: 16 septiembre 2017]. ISSN 0956-053X. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X17302908>

HWANG, I. et al. “Characteristics of leachate from pyrolysis residue of sewage sludge”. *Chemosphere* [en línea], 2007, (Japón), 68, pp. 1913-1919. [Consulta: 21 febrero 2018]. ISSN 0045-6535. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653507003165>

IMAS, P. *El potasio: el nutriente esencial para aumentar el rendimiento y la calidad de las cosechas*. [En línea]. 2005. ICL Fertilizers. [Consulta: 20 enero 2018] Disponible en:

<https://www.iclfertilizers.com/potassium>

INTAGRI. *La conductividad eléctrica del suelo en el desarrollo de los cultivos*. [en línea]. Intagri S. C. 2001 [Consulta: 08 enero 2018]. Disponible en:

<https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-conductividad-electrica-del-suelo-en-el-desarrollo-de-los-cultivos>

INTERNATIONAL BIOCHAR INITIATIVE (IBI). *Frequently asked questions about biochar* [en línea]. 2013. [Consulta: 17 marzo 2018]. Disponible en: <http://www.biochar-international.org/biochar/faqs>

INTERNATIONAL BIOCHAR INITIATIVE (IBI). *Guidelines on practical aspects of biochar application to field soil in various soil management systems* [en línea]. Philadelphia: 2010. [Consulta: 24 octubre 2017]. Disponible en: http://www.biochar-international.org/sites/default/files/IBI%20Biochar%20Application%20Guidelines_web.pdf

INTERNATIONAL BIOCHAR INITIATIVE (IBI). *Standardized product definition and product testing guidelines for biochar that is used in soil* [en línea]. 2012. [Consulta: 03 noviembre 2017]. Disponible en: http://www.biochar-international.org/sites/default/files/Guidelines_for_Biochar_That_Is_Used_in_Soil_Final.pdf

INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE (IPNI). *Better crops with plant food* [en línea]. Canadá: IPNI, 2017. [Consulta: 10 enero 2018]. Disponible en: [http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/4CDD72E2BC7F0EF3852582340064165D/\\$FILE/BC-2018-1.pdf](http://www.ipni.net/publication/bettercrops.nsf/0/4CDD72E2BC7F0EF3852582340064165D/$FILE/BC-2018-1.pdf)

JINDO, K. et al. “Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues”. *Biogeosciences Discussions* [en línea], 2014, (Murcia), 11, pp. 6613-6621. [Consulta: 15 enero 2018]. DOI 10.5194/bg-11-6613-2014. Disponible en: <https://www.biogeosciences.net/11/6613/2014/>

JOHNSON, R. & KUBY, P. *Estadística elemental: Lo esencial*. [en línea] 10ma ed. México: CENGAGE Learning, 2008. Disponible en : <https://www.yyyy.files.wordpress.com/2018/02/estadc3adstica-elemental-lo-esencial-robert-johnson-y-patricia-kuby.pdf>

KASS, D. *Fertilidad de los suelos*. [en línea] San José, Costa Rica: EUNED, 1996. [Consulta: 18 enero 2018]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=sRua411JhvgC&printsec=frontcover&dq=Fertilidad+de+los+suelos&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjodyI6KnaAhWprFkKHampBnAQ6AEIJjAA#v=onepage&q=Fertilidad%20de%20los%20suelos&f=false>

KIRUBAKARAN, V. et al. “A review on gasification of biomass”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. [en línea], 2009, (Tamil Nadu, India) 13, pp. 179-186. [Consulta: 22 Marzo 2018]. DOI 10.1016/j.rser.2007.07.001. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032107001141>

KLAASSEN, P. *La importancia de la conductividad eléctrica*. [en línea] s.l. 2018. [Consulta: 19 enero 2018]. Disponible en: http://www.canna.es/importancia_conductividad_electrica

KOOKANA, R.S, et al. Chapter three - biochar application to soil: Agronomic and environmental benefits and unintended consequences. *Advances in Agronomy*. [en línea] 2011, (Australy), 112, pp. 103-143. [Consulta: 22 febrero 2018]. DOI 10.1016/B978-0-12-385538-1.00003-2. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123855381000032>

KREUTER, M. L. *Jardín y huertos biológicos*. [en línea] Madrid, España: MP, 2005.

KOODisponible en:

<https://books.google.com.ec/books?id=BawSAQAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Jard%C3%ADn+y+Huertos+Biol%C3%B3gicos&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjsosvd4braAhUGyFkKHWU4AYYQ6AEIJAA#v=onepage&q=Jard%C3%ADn%20y%20Huertos%20Biol%C3%B3gicos&f=false>

LEHMANN, J. & JOSEPH, S. “Biochar for environmental management: An introduction”. En: *Biochar For Environmental Management: Science, Technology And Implementation*. [en línea]. Derby (Inglaterra): Saxon Graphics Ltd., 2015, pp. 1, 2. [Consulta: 20 enero 2018]. ISBN 978-0-415-70415-1. Disponible en:

<https://books.google.com.ec/books?id=gWDABgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Biochar+for+Environmental+Management:+an+introduction&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwjVg5WwI7HaAhWnY98KHbU4BJYQ6AEIJAA#v=onepage&q=Biochar%20for%20Environmental%20Management%3A%20an%20introduction&f=false>

LEHMANN, J. & JOSEPH, S. “Biochar for environmental management: an introduction”. En: *Biochar for environmental management: science, technology and implementation*. [en línea]. Londres: Earthscan, 2009, pp. 1-9. [Consulta: 21 enero 2018]. ISBN 978-1-84407-658-1. Disponible en:

https://books.google.com.ec/books?id=wCUty_JIfcC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

LEHMANN, J. “A handful of carbon”. *Nature*. [en línea], 2007, 447, pp. 143-144. [Consulta: 20 enero 2018]. DOI 10.1038/447143a. Disponible en:

[http://www.garnautreview.org.au/CA25734E0016A131/WebObj/TimFlannery/\\$File/Tim%20Flannery.pdf](http://www.garnautreview.org.au/CA25734E0016A131/WebObj/TimFlannery/$File/Tim%20Flannery.pdf)

LOZADA, J. Obtención de biogás en base a mezclas de gallinaza con residuos orgánicos de cerdo y cuy. [en línea]. (Pre-grado) Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. 2013, p. 2. [Consulta: 30 enero 2018]. Disponible en:

<http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/6631/1/BQ%2040.pdf>

MAJOR, J. et al. 2010. "Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a colombian savanna oxisol". *Springer Link* [en línea], 2010, 333, pp. 117-28. [Consulta: 05 febrero 2018]. DOI 10.1007/s11104-010-0327-0. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11104-010-0327-0>

MANYÁ, J. J. "Pyrolysis for biochar purposes: a review to establish current knowledge gaps and research needs. environmental". *Science & Technology* [en línea], 2012, 46(15), pp. 7939–7954. [Consulta: 10 febrero 2018]. DOI 10.1021/es301029g. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/es301029g>

MARTÍNEZ, C. Efectos de enmiendas de biochar sobre el desarrollo en *Cucumis sativus L.* Var. SMR-58 [en línea] (tesis). (Maestría) Universidad de Guadalajara, Zopopan, México, 2015, pp. 6-69. [Consulta: 30 enero 2018]. Disponible en: http://biblioteca.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5921/Martinez_Chavez_Carla_Cristina.pdf?sequence=1

MARTÍNEZ, E. et al. "Carbono orgánico y propiedades del suelo". *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal* [en línea], 2008, 8(1), pp. 68-96. [Consulta: 13 enero 2018]. ISSN: 0718-2791 Disponible en: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120129/Martinez_Eduardo.pdf?sequence=1

MAŠEK, O. et al. 2013. "Influence of production conditions on the yield and environmental stability of biochar". *Fuel* [en línea], 2013, 103, pp. 151-155. [Consulta: 20 enero 2018]. DOI 10.1016/j.fuel.2011.08.044. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236111005187>

MCKENDRY, P. "Energy production from biomass (part 1): overview of biomass". *Bioresource technology* [en línea], 2002, 83, pp. 37–46. [Consulta: 15 enero 2018]. DOI 10.1016/S0960-8524(01)00118-3. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852401001183>

MELLIGAN, F. et al. "Pressurised pyrolysis of Miscanthus using a fixed bed reactor". *Bioresource technology* [en línea], 2011, 102, pp. 3466-3470. [Consulta: 16 febrero 2018]. DOI 10.1016/j.biortech.2010.10.129. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852410017852>

MÉNDEZ, A. et al. "Effects of sewage sludge biochar on plant metal availability after application to a Mediterranean soil". *Chemosphere* [en línea], 2012, (España), 89(11), pp. 1354-1359. [Consulta: 19 abril 2018]. ISSN 0045-6535. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653512007394>

MIGUEZ, J. "Capítulo 9: Procesos termoquímicos para la obtención de energía a partir de la fitomasa residual (combustión, gasificación, pirólisis)". En: *Procesos termoquímicos para obtención de biomasa*. [en línea].s.l.: 2002., pp. 19-20. [Consulta: 10 febrero 2018] Disponible en:<https://procesosbio.wikispaces.com/file/view/PROCESOS+TERMOQU%C3%8DMICOS+PARA+OBTENCION+DE+BIOMASA.pdf>

MINISTERIO DEL AMBIENTE. *Guía para el muestreo de suelos*. [en línea]. Lima, Perú: Dirección General de Calidad Ambiental. 2014. Disponible en: <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOS-final.pdf>

MOHAN, D. et al. "Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: a critical review". *Energy&fuels* [en línea], 2006 (USA), 20 (3), pp. 848-889. [Consulta: 24 octubre 2017]. DOI 10.1021/ef0502397. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/90776564/Pyrolysis-of-Wood-Biomass-for-Bio-Oil-a-Critical-Review>

MOHR, K. et al. "Behaviour of PCDD/F under pyrolysis conditions". *Chemosphere*. [en línea], 1997, 34, pp. 1053-1064. [Consulta: 08 febrero 2018]. DOI 10.1016/S0045-6535(97)00407-4 Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653597004074>

MOLTÓ, J. Descomposición térmica de residuos textiles: estudio cinético y formación de contaminantes. [en línea] (tesis). (Doctorado) Universidad de Alicante, Alicante, España, 2007, pp. 7-266. ISBN 978-84-690-7105-2. [Consulta: 02 febrero 2018]. Disponible en: <http://www.cervantesvirtual.com/obra/descomposicion-termica-de-residuos-textiles-estudio-cinetico-y-formacion-de-contaminantes--0/>

MULLO, I. Manejo y procesamiento de la gallinaza. [en línea] (Tesis). (Pregrado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2012, p. 3. [Consulta: 25 septiembre 2017]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/2114/1/17T1106.pdf>

NAVARRO GARCÍA, G. & NAVARRO GARCÍA, S. *Química agrícola. Química del suelo y de nutrientes esencial* [en línea]. 3era ed. Madrid, España: Mundiprensa. 2013. [Consulta: 06 febrero 2018]. Disponible en:

<https://books.google.com.ec/books?id=RSs6AgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=QUIMICA+AGRICOLA.+QUIMICA+DEL+SUELO+Y+DE+NUTRIENTES+ESENCIAL&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiThrjcyKbaAhUDu1MKHcVBAsQ6AEIJjAA#v=onepage&q=QUIMICA%20AGRICOLA.%20QUIMICA%20DEL%20SUELO%20Y%20DE%20NUTRIENTES%20ESENCIAL&f=false>

NETHERTON, E. A. Biochar effects on soils quality as evaluated by physical chemical, and biological parameters [en línea] (tesis). (Doctoral) Universidad Autónoma de Barcelona, Unidad de Ecología, Departamento de Biología Animal, Biología Vegetal y Ecología, Ballaterra, España, 2013. pp. 1-3, 7-8 y 24-27. [Consulta: 18 diciembre 2017]. Disponible en: www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/131325/eanm1de1.pdf?sequence=1

NIETO, A. Fabricación, caracterización y utilización de biochar como sustituto de la turba en la preparación de sustratos de cultivo. [en línea] (tesis). (Dotorado) Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España, 2015, pp. 21-227. ISBN 37192. [Consulta: 05 febrero]. Disponible en: http://oa.upm.es/37192/1/MARIA_AURORA_NIETO_MARTIN.pdf

NOGUÉZ, F. et al. *Energía de la biomasa*. [en línea]. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza, 2010. Disponible en:

<https://books.google.com.ec/books?id=P58rcPu5O90C&printsec=frontcover&dq=Energ%C3%ADa+de+la+biomasa&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjRmriusbvaAhVrw1kKHSyNBCgQ6AEIJjAA#v=onepage&q=Energ%C3%ADa%20de%20la%20biomasa&f=false>

NOVAK, J. et al. "Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil". *Soil Science* [en línea], 2009, 174(2), pp. 105-112. [Consulta: 19 abril 2018]. ISSN 0038-075X Disponible en: <https://pubag.nal.usda.gov/download/27438/PDF>

NOVOTNY, E. et al. "Biochar: pyrogenic carbon for agricultural use - a critical review". *Rev. Bras. Ciênc. Solo* [en línea], 2015, (Brazil), 39(2), pp. 321-344. [Consulta: 21 octubre 2017]. ISSN 1806 9657. Disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832015000200321

OBSERVATORIO DE MEDIO AMBIENTE. *El plan gira: el programa de residuos ganaderos.* [en línea]. Aragón, España: Observatorio de Medio Ambiente. 2006. [Consulta: 19 abril 2018]. Disponible en:
http://www.aragon.es/estaticos/ImportFiles/06/docs/%C3%81reas/Residuos/GestResidArag/ObservatorioMedioAmbiente/Publicaciones/RESIDUOS_GANADEROS.pdf

OLIVEIRA, J. et al. *Análisis de suelos y plantas y recomendaciones de abonado.* [en línea]. Olivedo: Ediciones de la Universidad de Olivedo, 2006. Disponible en:
https://books.google.com.ec/books?id=5owJ6JS0txAC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=fals

OSÉS, A. Efectos de la aplicación de biochar en el modelo jerárquico de agregación de un suelo forestal bajo condiciones oceánicas. [en línea] (tesis). (Trabajo de Grado) Universidad Autónoma de Barcelona, Barcelona, España, 2013. [Consulta: 26 enero 2018]. Disponible en:
https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2013/hdl_2072_210372/PFC_AnderOsesOrbegozo.pdf

PASCUAL, R. & VENEGAS, S. *Materia orgánica en el suelo.* [en línea]. UGR: 2016. [Consulta: 20 enero 2018]. Disponible en: <http://www.ugr.es/~cjl/MO%20en%20suelos.pdf>

PAZMIÑO, J. Efectos de diferentes niveles de gallinaza en la alimentación de cerdos mestizos en crecimiento y engorde [en línea] (tesis). (Trabajo de grado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 1981.

PENG, X. et al. “Effects of biochar addition on toxic element concentrations in plants: a meta-analysis”. *Science of the Total Environment.* [en línea], 2018, 616-617, pp. 970-977. [Consulta: 10 febrero 2018]. DOI 10.1016/j.scitotenv.2017.10.222. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717329406>

PERDONO, C. & BARBAZÁN, M. *Nitrógeno.* [en línea]. Fagro: 2001. [Consulta: 20 enero 2018]. Disponible en: <http://www.fagro.edu.uy/fertilidad/publica/Tomo%20N.pdf>

PÉREZ, M., et al. *Capítulo 25. Estrategias de contaminación de suelos mediante residuos agroindustriales.* En: R. J. Ballesta, ed. *Introducción a la contaminación de suelos.* [en línea]. Madrid, España: Mundi-Prensa. 2017. Disponible en:
https://books.google.com.ec/books?id=iZg6DwAAQBAJ&pg=PA531&dq=Cap%C3%ADtulo+25.+Estrategias+de+contaminaci%C3%B3n+de+suelos+mediante+residuos+agroindustriales&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiDz_f-

mcrAhUK0IMKHV8uA4UQ6AEIJAA#v=onpage&q=Cap%C3%ADtulo%2025.%20Estrategias%20de%20contaminaci%C3%B3n%20de%20suelos%20mediante%20residuos%20agroindustriales&f=false

PIETRZAK, R. & BANDOSZ, T. J. “Activated carbons modified with sewage sludge derived phase and their application in the process of NO₂ removal”. *Carbon*, [en línea], 2007, 45, pp. 2537-2546. [Consulta: 30 enero 2018]. DOI 10.1016/j.carbon.2007.08.030. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008622307004101>

PILCO, A. *Cenizas*. [en línea]. Química de alimentos: 2014. [Consulta: 07 febrero 2018]. Disponible en: <http://alimentos6173.blogspot.com/2014/06/ceniza.html>

PRIETO, M. O. Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal. [en línea] (tesis). (Doctorado) Universidad de Córdoba, Córdoba, 2016. [Consulta: 13 enero 2018]. Disponible en: <http://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/13381/2016000001398.pdf?sequence=1>

ROJAS, R. Conferencia sistemas de tratamiento de aguas residuales [en línea]. 2002. [Consulta: 20 enero 2018]. Disponible en: <http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000093-9097e9190c/GESTION%20INTEGRAL%20DEL%20TRATAMIENTO%20AR.pdf>

ROSALES, L. et al. “Gallinaza: un residual avícola como fuente alternativa de nutrientes para producción de biomasa microalgal”. *Revista Colombiana de Biotecnología*. [en línea], 2007, 9(1), pp. 41-48. [Consulta: 05 febrero 2018]. ISSN 1909-8758. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/216459807_Gallinaza_Un_residual_avicola_como_fuente_alternativa_de_nutrientes_para_produccion_de_biomasa_microalgal

SCHULZ, H. et al. “Positive effects of composted biochar on plant growth and soil fertility”. *SpringerLink*. [en línea], 2013, 33, pp. 817-27. ISSUE 4. [Consulta: 06 febrero 2018]. ISSN 1773-0155. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-013-0150-0>

SEDESOL. *Capítulo 6. Pirólisis*. [en línea]. BVSDE: 2001. [Consulta: 19 Enero 2018]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd61/tecnadmvo/cap6.pdf>

SEREDYCH, M. & BANDOSZ, T. J. “Removal of cationic and ionic dyes on industrial–municipal sludge based composite adsorbents”. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. [en línea], 2007, 46(6), p. 1786–1793. [Consulta: 10 febrero 2018]. DOI 10.1021/ie0610997. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie0610997>

SKOOG, D. et al. *Fundamentos de química analítica*. [en línea]. Barcelona: Reverté S.A. 2001. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=CU7yWvK1kGQC&printsec=frontcover&dq=Fundamentos+de+qu%C3%ADmica+anal%C3%ADtica&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjs_9fp-s7aAhWFwFMKHU2wBhMQ6AEIKjAB#v=onepage&q=Fundamentos%20de%20qu%C3%ADmica%20anal%C3%ADtica&f=false

SONG, W. & GUO, M. “Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures”. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. [en línea], 2012, 94, p. 138–145. [Consulta: 10 enero 2018]. DOI 10.1016/j.jaap.2011.11.018. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016523701100204X>

SORIA, M. et al. *Magnesio, el electrolito olvidado*. [en línea]. Zaragoza: Prensas de la Universidad de Zaragoza. 2013. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=bDUVDMCsi50C&printsec=frontcover&dq=Magnesio,+el+electrolito+olvidado.&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjgsMerhc_aAhVH21MKHfXACjMQ6AEIJjAA#v=onepage&q=Magnesio%2C%20el%20electrolito%20olvidado.&f=false

SPARKES, J. & STOUTJESDIJK, P. *Technical report: biochar: implications for agricultural*. [en línea]. Australia: Commonwealth of Australia. 2011. Diponible en: <http://www.melonsaustralia.org.au/industry/documents-and-reports/Biochar%20-%20implications%20for%20agricultural%20productivity.pdf>

STEINER, C. “Soil charcoal amendments maintain soil fertility and establish a carbon sink – research and prospects”. *Soil Ecology Research Developments*. [en línea], 2007, pp. 105-110. ISSN 978-1-60021-971-9. [Consulta: 15 ENERO 2018]. Disponible en: <http://www.biochar.org/joomla/images/stories/Expert%20Comment%20Steiner-PE.pdf>

STEINVORTH, A. *Aprovechamiento energético de residuos sólidos municipales mediante el uso de tratamientos térmicos de avanzada* [en línea]. Éxito Empresarial. [Consulta: 30 noviembre 2017]. Disponible:

http://www.cegesti.org/exitoempresarial/publicaciones/publicacion_253_240314_es.pdf

SUQUILANDA, M. B. *Manejo agroecológico del suelo*. [en línea] Quito, Ecuador: MAGAP, 2017. Disponible en:

<http://balcon.magap.gob.ec/mag01/magapaldia/libro/Manejo%20Agroecolo%CC%81gico%20Suelos%20MSV.pdf>

TETRA Technologies, Inc. La importancia del calcio. [en línea]. *TETRA Chemicals*: 2004.

[Consulta: 20 Enero 2018]. Disponible en:

www.tetrachemicals.com/getFile.asp?File_Content_ID=963

LABORATORIO - MECÁNICA DE SUELOS. Método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. [en línea]. Universidad Nacional de Ingeniería: 2006.

[Consulta: 20 Enero 2018]. Disponible en:

<http://www.lms.uni.edu.pe/Determinacion%20del%20contenido%20de%20Humedad.pdf>

GRUPO DE INVESTIGACIÓN “VALORIZACIÓN DE RECURSOS”. *Nuevo material para mejorar los suelos a partir de residuos ganaderos*. [en línea]. Universidad Politécnica de Madrid: Madrid, España, 2015. [Consulta: 19 abril 2018]. Disponible en:

<http://www.upm.es/Investigacion?fmt=detail&prefmt=articulo&id=11991b025590d410VgnVCM10000009c7648a>

URIEN, A. Obtención de biocarbones y biocombustibles mediante pirólisis de biomasa residual. [en línea] (tesis). (Masterado). Universidad Nacional de Educación a Distancia, Oviedo, España, 2013. [Consulta: 28 enero 2018]. Disponible en:

http://digital.csic.es/bitstream/10261/80225/1/BIOCARBONES_CENIM_CSIC.pdf

VEGA, A. & VÉLEZ, P. *Validación del método de determinación de cobre y zinc por espectroscopia de absorción atómica de llama en agua cruda y tratada para el laboratorio de análisis de aguas y alimentos de la Universidad Tecnológica De Pereira*. [en línea]. Pereira,

Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira. 2011. Disponible en:
<http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/tesis/textoyanexos/5430858V422.pdf>

WAN, Y. et al. “Microwave-assisted pyrolysis of biomass: catalysts to improve product selectivity”. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. [En línea], 2009, 86 (1), pp. 161-167. [Consulta: 15 enero 2018]. DOI 10.1016/j.jaap.2009.05.006. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165237009000825>

WANG, Q. et al. “Comparison of biochar, zeolite and their mixture amendment for aiding organic matter transformation and nitrogen conservation during pig manure composting”. *Bioresource Technology*. [En línea], 2017, 245, pp. 300-308. [Consulta: 07 febrero 2018]. DOI 10.1016/j.biortech.2017.08.158. Disponible en:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28898824>

WERNER, S. et al. “Agronomic benefits of biochar as a soil amendment after its use as waste water filtration medium”. *Environmental Pollution*. [En línea], 2018, 233, pp. 561-568. [Consulta: 11 enero 2018]. DOI 10.1016/j.envpol.2017.10.048. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749117307418>

XU, L. L. Desarrollo de nuevos sustratos a base de compost y biochar para la propagación y producción de *Rosmarinus officinalis L.* en vivero profesional. [En línea] (tesis). (Pre-grado) Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, 2015. [Consulta: 31 enero 2018]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/54191/LIU%20-%20Desarrollo%20de%20nuevos%20sustratos%20a%20base%20de%20compost%20y%20biochar%20para%20la%20propagaci%F3n%20y%20producci%F3n....pdf?sequence=1>

XUE, Y. et al. “Fast pyrolysis of biomass and waste plastic in a fluidized bed reactor”. *Fuel*. [En línea], 2015, 156, pp. 40-46. [Consulta: 09 febrero 2018]. DOI 10.1016/j.fuel.2015.04.033. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236115004317>

YAMAN, S. “Pyrolysis of biomass to produce fuels and chemical feedstocks”. *Energy Conversion and Management*. [En línea], 2004, 45 (5), pp. 651- 671. [Consulta: 01 febrero 2018]. DOI 10.1016/S0196-8904(03)00177-8. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890403001778>

YAO, Y. et al. “Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil”. *Chemosphere*. [En línea], 2012, 89, pp. 1467-1471. [Consulta: 07 febrero 2018]. DOI 10.1016/j.chemosphere.2012.06.002. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653512007709>

YU, K. L. et al. “Recent developments on algal biochar production and characterization”. *Bioresource Technology*. [en línea], 2017, (Malaysia) 246, pp. 2-11. [Consulta: 22 marzo 2018]. DOI 10.1016/j.biortech.2017.08.009. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852417313147>

YUAN, W. & BANDOSZ, T. J., 2007. “Removal of hydrogen sulfide from biogas on sludge-derived adsorbents”. *Fuel*. [En línea], 2011, 86, pp. 2736-2746. [Consulta: 03 febrero 2018]. DOI 10.1016/j.fuel.2007.03.012. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236107001330>

ZHAO, L. et al. “Heterogeneity of biochar properties as a function of feedstock sources and production temperatures”. *Journal of Hazardous Materials*. [en línea], 2013, 256–257, pp. 1-9. [Consulta: 18 febrero 2018]. DOI 10.1016/j.jhazmat.2013.04.015. Diponible en:
https://people.clas.ufl.edu/azimmer/files/Publication-pdf/Zhao-Zimmerman-13_Heterogeneity-of-biochar-properties-as-a-function-of-feedstock-sources-and-prod-temp.pdf

ANEXOS

Anexo A. Composición de la alimentación de gallinas 50 semanas a fin de postura.

Carifon # 1

GRANJA (22)

1
Plant.....VIO EXIBAL
Price File.....Using BUFFER Prices (VIO) User : SUPER

Product No..... 35
Product Name...PON ISSA 50 sem-fin 110grs
Today's Date...09-21-2017
Comments.....EXIBAL ISA 50 A FIN. POSTURA 110GR
Date/Time.....09-21-2017 08:03:54 # 30333

Rounded Amount	Ing Code	Ing Name	Pct of Mix	Cost/ KG	Low Range	High Range	Rest/ KG	Ingredient Min	Ingredient Max	Nutrient Name	Nutrient Minimum	Actual	Nutrient Maximum	Cost
841.00	039222	1 MAIZ NAC	38.221	0.39	0.37	0.60				1 PESO	1.0000	1.0002	1.0000	
547.00	024836	43 H SOYA 46	24.860	0.46	0.31	0.70				2 PROTEINA		17.2012		
330.00	13720	5 TRIGO BLAN	14.998	0.34		0.36	-0.024	15.000		3 E METAB a	2825.000	2826.214		-0.1223
236.68		80 CARBONATO	10.757	0.06		1.81				4 MET+GIS	0.7000	0.7021		-31.946
110.00	5	3 POLVILLO D	4.999	0.23		0.35	-0.115	5.000		5 METIONINA	0.4100	0.4126		
86.00	30990	30 ACEIT PALM	3.908	0.82	0.01	0.94				6 LISINA	0.8200	0.8904		
20.00	09090	26 TORTA DE E	0.909	0.14		0.19				7 TRIPTOFAN	0.1800	0.2165		
8.0000	036	85 FOSFATO MO	0.364	0.71	0.51	9.73				8 TREONINA	0.6000	0.6002		-104.820
6.8000	03940	89 SAL	0.309	0.19		97.80				9 ARGININA	1.0500	1.0659		
3.5000	01545	96 PREMIX PON	0.159	2.29			0.159			10 MC dig a	0.6300	0.6435		
3.3000	015	220 ATRAPADOR	0.150	2.36			2.423	0.150		11 LIS dig a	0.7000	0.8070		
3.2000	01454	90 DL METIONI	0.145	3.10		17.94				12 TRE dig a	0.5100	0.5663		
2.5080	01408	219 ACIDO FYLA	0.114	3.00			3.063	0.114		13 ARG dig a	0.9500	1.0251		
1.1000	005	185 ROVAVIO MA	0.050	5.40		7.29	-1.888	0.050		14 GRASA	4.0000	7.0126	7.0000	1.2138
0.6000	0242	111 CLORURO DE	0.027	1.02		1.083	0.027			15 FIFRA CRU	2.8000	3.0688	4.0000	
0.4400	002	175 antioxidan	0.020	2.24			2.303	0.020		16 CALCIO	4.1000	4.0978	4.2000	-3.4630
0.2200	001	216 ENRAMICINA	0.0100	21.50			21.563	0.0100		17 FOSFORO T		0.4638		
Total Weight 2200.35 388.48 \$ Per TONNE 0.39 \$ Per KG														
Rejected Ingredient Section														
	Ing Code	Ing Name	Pct of Mix	Cost/ KG	Low Range	High Range	Ingredient Min	Ingredient Max						
		20 AFRECHO DE TRIG		0.26	0.17					22 ASH		13.8955		
		189 lisina 54.6		1.18	0.40					23 A:B BALAN		202.4649		
										24 E MET Cer		3029.814		
										25 LIS Dig C		0.7705		
										26 M+C Dig C		0.6514		
										27 TRE Dig C		0.5361		
										28 BS		90.6161		
										29 TRP DIG C				

Anexo B. Composición de la alimentación de gallinas de 28 a 50 semanas.

Carifon # 2

GRANJA (22)

1
Plant.....VIO EXIBAL
Price File.....Using BUFFER Prices (VIO) User : SUPER

Product No..... 34
Product Name...PON ISSA 28-50 sem 110grs
Today's Date...09-21-2017
Comments.....EXIBAL ISA 28 A 50 SEMANAS 110GRS
Date/Time.....09-21-2017 07:46:12 # 30321

Rounded Amount	Ing Code	Ing Name	Pct of Mix	Cost/ KG	Low Range	High Range	Rest/ KG	Ingredient Min	Ingredient Max	Nutrient Name	Nutrient Minimum	Actual	Nutrient Maximum	Cost
851.00	038634	1 MAIZ NAC	38.686	0.39	0.35	0.56				1 PESO	1.0000	0.9999	1.0000	
527.00	023944	43 H SOYA 46	23.957	0.46	0.34	7.94				2 PROTEINA		16.9529		
330.00	13720	5 TRIGO BLAN	15.002	0.34		0.37	-0.035	15.000		3 E METAB a	2825.000	2826.190		-0.1397
222.70		80 CARBONATO	10.124	0.06		1.88				4 MET+GIS	0.7000	0.6993		-32.422
110.00	5	3 POLVILLO D	5.001	0.23		0.34	-0.110	5.000		5 METIONINA	0.4100	0.4139		
84.00	381	30 ACEIT PALM	3.819	0.82	0.03	1.05				6 LISINA	0.8200	0.8681		
41.00	18636	26 TORTA DE F	1.864	0.14		0.23				7 TRIPTOFAN	0.1800	0.2114		
12.0000	0549	85 FOSFATO MO	0.546	0.71		10.92				8 TREONINA	0.6000	0.6023		-19.487
6.8000	03940	89 SAL	0.309	0.19		2.34				9 ARGININA	1.0500	1.0502		-47.949
3.5000	01545	96 PREMIX PON	0.159	2.29			0.159			10 MC dig a	0.6300	0.6411		
3.3000	015	220 ATRAPADOR	0.150	2.36			2.470	0.150		11 LIS dig a	0.7400	0.7856		
3.3000	015	90 DL METIONI	0.150	3.10		15.23				12 TRE dig a	0.5100	0.5697		
2.5080	01408	219 ACIDO FYLA	0.114	3.00			3.110	0.114		13 ARG dig a	0.9500	1.0065		
1.1000	005	185 ROVAVIO MA	0.050	5.40			0.050	0.050		14 GRASA	4.0000	7.0162	7.0000	2.1795
0.6000	0242	111 CLORURO DE	0.027	1.02		1.130	0.027			15 FIFRA CRU	2.7000	3.2639	4.0000	
0.4400	002	175 antioxidan	0.020	2.24			2.350	0.020		16 CALCIO	3.9000	3.8983	4.0000	-4.7693
0.3000	03963	94 L TREONINA	0.014	1.80		10.21				17 FOSFORO T		0.5045		
0.2200	001	216 ENRAMICINA	0.010	21.50			21.610	0.0100		18 FOSFORO D	0.3400	0.3369		-34.560
Total Weight 2199.77 388.07 \$ Per TONNE 0.39 \$ Per KG														
Rejected Ingredient Section														
	Ing Code	Ing Name	Pct of Mix	Cost/ KG	Low Range	High Range	Ingredient Min	Ingredient Max						
		17 acemita trigo		0.33	0.17					23 A:B BALAN		197.7837		
		20 AFRECHO DE TRIG		0.26	0.15			7.000		24 E MET Cer		3033.590		
		110 BICARBONATO DE		1.60	0.10					25 LIS Dig C		0.7491		
		189 lisina 54.6		1.18	0.42					26 M+C Dig C		0.6489		
										27 TRE Dig C		0.5376		
										28 BS		90.3174		
										29 TRP DIG C		0.1728		

Anexo C. Registro manual de variables tiempo – temperatura – presión de residuos avícolas durante el proceso de pirólisis.

TIEMPO	MBG1		MBG2		MBG3	
	TEMPERATURA (°C)	PRESIÓN (psi)	TEMPERATURA (°C)	PRESIÓN (psi)	TEMPERATURA (°C)	PRESIÓN (psi)
0	24	0	18	0	18	0
15	72	100	39	100	35	100
30	176	200	82	200	71	200
45	243	600	131	300	127	300
60	296	900	180	350	176	400
75	296	900	227	450	220	500
90	296	900	254	500	252	550
105	-	-	265	600	273	600
120	-	-	280	700	290	700
135	-	-	295	800	290	700
150	-	-	295	800	290	700
165	-	-	300	900	-	-

Anexo D. Registro manual de variables tiempo – temperatura – presión de lodos de depuradora durante el proceso de pirólisis.

TIEMPO	MBLD1		MBLD2		MBLD3	
	TEMPERATURA (°C)	PRESIÓN (psi)	TEMPERATURA (°C)	PRESIÓN (psi)	TEMPERATURA (°C)	PRESIÓN (psi)
0	59	0	20	0	58	0
15	76	50	37	50	79	50
30	96	75	82	100	123	100
45	145	100	129	150	165	150
60	195	150	173	175	210	200
75	228	175	211	200	244	250
90	259	200	246	250	274	275
105	290	200	276	275	295	290
120	290	220	297	290	295	300
135	290	240	297	340	295	310
150	-	-	297	390	-	-

Anexo E. Informe del análisis físico-químico de la muestra de residuos avícolas.

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	LABORATORIO DE CALIDAD DE FERTILIZANTES Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-844/2372-845	PGT/F/09-FO01
	INFORME DE ANÁLISIS	Rev. 3
		Hoja 1 de 1

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: GABRIELA LÓPEZ

Informe número: LN-F-E17-1608
 Fecha emisión informe: 29-12-2017

Dirección: Ciudadela Los Olivos

Teléfono: 0994865466

Correo Electrónico: gabimvec@gmail.com

Provincia: Chimborazo Cantón: Riobamba

N° Orden de Trabajo: F-17-CGLS-2302

N° Factura/Documento: 10949-10950/801-M

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra: Fertilizante sólido orgánico	Conservación de la muestra: Envase apropiado
Lote: ---	Tipo de envase: funda plástica
Provincia: Chimborazo	Coordenadas: X: ---
Cantón: Riobamba	Y: ---
Parroquia: La Libertad	Altitud: ---
Muestreado por: Gabriela López	
Fecha de muestreo: 23-19/10/2017	Fecha de inicio de análisis: 11/12/2017
Fecha de recepción de la muestra: 04/12/2017	Fecha de finalización de análisis: 28/12/2017

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETROS ANALIZADOS	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS	ESPECIFICACIÓN (FICHA TÉCNICA)
F1715010	MG1	NT	PEE/F/14	%	3.61	---
		² P ₂ O ₅	PEE/F/04	%	3.1667	---
		² K ₂ O	PEE/F/19	%	2.6962	---
		² CaO	PEE/F/11	%	10.8012	---
		² MgO	PEE/F/11	%	1.4547	---
		² SO ₃	PEE/F/06	%	0.58	---
		MO	PEE/F/09	%	67.59	---
		Cenizas	PEE/F/09	%	32.41	---
		Humedad	PEE/F/18	%	13.5	---
		² CO	PEE/F/09*	%	39.20	---
		² C/N	PEE/F/09*	%	10.86	---
		pH	PEE/F/15	1:100	7.60	---
		CE	PEE/F/15	mS/cm 1:100	1088	---

²: Resultado obtenido por cálculo

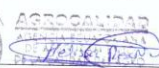
NT = Nitrógeno Total, P₂O₅ = Fósforo, K₂O = Potasio, CaO = Calcio, MgO = Magnesio, MO = Materia Orgánica, SO₃ = Azufre, CE = Conductividad Eléctrica, CO = Carbono orgánico, C/N = relación carbono nitrógeno

Analizado Por: Ing. Melissa Rea, Ing. Mayra Quishpe, Ing. Edison Vega

Observaciones: Los resultados están expresados en %p/p

Anexo Gráficos: ---

Anexo Documentos: ---


 Ing. Melissa Rea
 Responsable Técnica Laboratorio
 de Calidad de Fertilizantes

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

Anexo F. Informe del análisis físico-químico de la muestra de lodos de depuradora.

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASESORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	LABORATORIO DE CALIDAD DE FERTILIZANTES Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-844/2372-845	PGT/F/09-FO01
	INFORME DE ANÁLISIS	Rev. 3
		Hoja 1 de 1

Informe número: LN-F-E17-1607
 Fecha emisión informe: 29-12-2017

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: GABRIELA LÓPEZ

Dirección: Ciudadela Los Olivos

Teléfono: 0994865466

Correo Electrónico: gabimvec@gmail.com

Provincia: Chimborazo

Cantón: Riobamba

N° Orden de Trabajo: F-17-CGLS-2302

N° Factura/Documento: 10949-10950/801-M

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra: Fertilizante sólido orgánico	Conservación de la muestra: Envase apropiado
Lote: ---	Tipo de envase: funda plástica
Provincia: Chimborazo	Coordenadas: X: --- Y: --- Altitud: ---
Cantón: Riobamba	
Parroquia: La Libertad	
Muestreado por: Gabriela López	
Fecha de muestreo: 23-19/10/2017	Fecha de inicio de análisis: 11/12/2017
Fecha de recepción de la muestra: 04/12/2017	Fecha de finalización de análisis: 28/12/2017

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETROS ANALIZADOS	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS	ESPECIFICACIÓN (FICHA TÉCNICA)
F171509	ML1	NT	PEE/F/14	%	1.04	---
		² P ₂ O ₅	PEE/F/04	%	0.3727	---
		² K ₂ O	PEE/F/19	%	0.0927	---
		² CaO	PEE/F/11	%	1.3729	---
		² MgO	PEE/F/11	%	0.7746	---
		Cu	PEE/F/12	%	0.0142	---
		Zn	PEE/F/21	%	0.0288	---
		² SO ₃	PEE/F/06	%	0.45	---
		MO	PEE/F/09	%	17.22	---
		Cenizas	PEE/F/09	%	82.78	---
		Humedad	PEE/F/18	%	7.80	---
		² CO	PEE/F/09*	%	9.99	---
		² C/N	PEE/F/09*	%	9.60	---
		pH	PEE/F/15	1:100	7.59	---
CE	PEE/F/15	mS/cm 1:100	149.3	---		

²: Resultado obtenido por cálculo

NT = Nitrógeno Total, P₂O₅ = Fósforo, K₂O = Potasio, CaO = Calcio, MgO = Magnesio, Cu = Cobre, Zn = Zinc, MO = Materia Orgánica, SO₃ = Azufre, CE = Conductividad Eléctrica, CO = Carbono orgánico, C/N = relación carbono nitrógeno

Analizado Por: Ing. Melissa Rea, Ing. Mayra Quishpe, Ing. Edison Vega

Observaciones: Los resultados están expresados en %p/p

Anexo Gráficos: ---

Anexo Documentos: ---


AGROCALIDAD
 AGENCIA ECUATORIANA
 DE ASESORAMIENTO
 DE LA CALIDAD DEL AGRO
 Ing. Melissa Rea
 Responsable Técnica Laboratorio
 de Calidad de Fertilizantes

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe

Anexo G. Informe del análisis físico-químico de la muestra de biochar obtenido a partir de residuos avícolas.

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	LABORATORIO DE CALIDAD DE FERTILIZANTES Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-844/2372-845	PGT/F/09-FO01
		Rev. 3
	INFORME DE ANÁLISIS	Hoja 1 de 1

Informe número: LN-F-E17-1610
 Fecha emisión informe: 29-12-2017

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: GABRIELA LÓPEZ

Dirección: Ciudadela Los Olivos

Teléfono: 0994865466

Correo Electrónico: gabimvec@gmail.com

Provincia: Chimborazo

Cantón: Riobamba

N° Orden de Trabajo: F-17-CGLS-2302

N° Factura/Documento: 10949-10950/801-M

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra: Fertilizante sólido orgánico	Conservación de la muestra: Envase apropiado
Lote: ---	Tipo de envase: funda plástica
Provincia: Chimborazo	Coordenadas: X: ---
Cantón: Riobamba	Y: ---
Parroquia: La Libertad	Altitud: ---
Muestreado por: Gabriela López	
Fecha de muestreo: 23-19/10/2017	Fecha de inicio de análisis: 11/12/2017
Fecha de recepción de la muestra: 04/12/2017	Fecha de finalización de análisis: 28/12/2017

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETROS ANALIZADOS	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS	ESPECIFICACIÓN (FICHA TÉCNICA)
F1715012	MBG2	NT	PEE/F/14	%	2.62	---
		² P ₂ O ₅	PEE/F/04	%	4.9628	---
		² K ₂ O	PEE/F/19	%	4.0574	---
		² CaO	PEE/F/11	%	14.5403	---
		² MgO	PEE/F/11	%	2.0758	---
		² SO ₃	PEE/F/06	%	1.08	---
		MO	PEE/F/09	%	55.90	---
		Cenizas	PEE/F/09	%	44.10	---
		Humedad	PEE/F/18	%	19.2	---
		² CO	PEE/F/09*	%	32.42	---
		² C/N	PEE/F/09*	%	12.37	---
		pH	PEE/F/15	1:100	8.35	---
CE	PEE/F/15	mS/cm 1:100	1450	---		

²: Resultado obtenido por cálculo

NT = Nitrógeno Total, P₂O₅ = Fósforo, K₂O = Potasio, CaO = Calcio, MgO = Magnesio, MO = Materia Orgánica, SO₃ = Azufre, CE = Conductividad Eléctrica, CO = Carbono orgánico, C/N = relación carbono nitrógeno

Analizado Por: Ing. Melissa Rea, Ing. Mayra Quishpe, Ing. Edison Vega

Observaciones: Los resultados están expresados en %p/p

Anexo Gráficos: ---

Anexo Documentos: ---



 Ing. Melissa Rea
 Responsable Técnica Laboratorio
 de Calidad de Fertilizantes

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha.
 Está prohibida la reproducción parcial de este informe

Anexo H. Informe de resultados del análisis físico-químico de la muestra de biochar obtenido a partir de lodos de depuradora.

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASESURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	LABORATORIO DE CALIDAD DE FERTILIZANTES Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-844/2372-845	PGT/F/09-F001
		Rev. 3
	INFORME DE ANÁLISIS	Hoja 1 de 1

Informe número: LN-F-E17-1612
 Fecha emisión informe: 29-12-2017

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: GABRIELA LÓPEZ

Dirección: Ciudadela Los Olivos

Teléfono: 0994865466

Correo Electrónico: gabimvec@gmail.com

Provincia: Chimborazo

Cantón: Riobamba

N° Orden de Trabajo: F-17-CGLS-2302

N° Factura/Documento: 10949-10950/801-M

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra: Fertilizante sólido orgánico	Conservación de la muestra: Envase apropiado
Lote: ---	Tipo de envase: funda plástica
Provincia: Chimborazo	Coordenadas: X: ---
Cantón: Riobamba	Y: ---
Parroquia: La Libertad	Altitud: ---
Muestreado por: Gabriela López	
Fecha de muestreo: 23-19/10/2017	Fecha de inicio de análisis: 11/12/2017
Fecha de recepción de la muestra: 04/12/2017	Fecha de finalización de análisis: 28/12/2017

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETROS ANALIZADOS	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS	ESPECIFICACIÓN (FICHA TÉCNICA)
F171514	MBLD1	NT	PEE/F/14	%	1.31	---
		² P ₂ O ₅	PEE/F/04	%	0.4478	---
		² K ₂ O	PEE/F/19	%	0.1127	---
		² CaO	PEE/F/11	%	1.4537	---
		² MgO	PEE/F/11	%	0.7286	---
		Cu	PEE/F/12	%	0.011	---
		Zn	PEE/F/21	%	0.0254	---
		² SO ₃	PEE/F/06	%	0.38	---
		MO	PEE/F/09	%	11.77	---
		Cenizas	PEE/F/09	%	88.23	---
		Humedad	PEE/F/18	%	2.20	---
		² CO	PEE/F/09*	%	6.82	---
		² C/N	PEE/F/09*	%	5.21	---
		pH	PEE/F/15	1:100	7.71	---
CE	PEE/F/15	mS/cm 1:100	98.4	---		

²: Resultado obtenido por cálculo

NT = Nitrógeno Total, P₂O₅ = Fósforo, K₂O = Potasio, CaO = Calcio, MgO = Magnesio, Cu = Cobre, Zn = Zinc, MO = Materia Orgánica, SO₃ = Azufre, CE = Conductividad Eléctrica, CO = Carbono orgánico, C/N = relación carbono nitrógeno

Analizado Por: Ing. Melissa Rea, Ing. Mayra Quishpe, Ing. Edison Vega

Observaciones: Los resultados están expresados en %p/p

Anexo Gráficos: ---



 Ing. Melissa Rea
 Responsable Técnica Laboratorio
 de Calidad de Fertilizantes

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

Anexo I. Fotografías.

Toma de muestra de los residuos avícolas



Toma de muestra de lodos de depuradora



Método del cuarteo de la muestra de residuos avícolas.



Método del cuarteo de la muestra de lodos de depuradora.



Secado al aire libre de la muestra de residuos avícolas.



Secado al aire libre de la muestra de lodos de depuradora.



Secado mecánico de la muestra de residuos avícolas.



Mecánico de la muestra de lodos de depuradora.



Molienda de la muestra de residuos avícolas.



Tamizado de las muestras de lodos de depuradora.



Pirólisis en el reactor batch.



Muestras de biochar obtenidas de residuos avícolas (MBG1, MBG2 y MBG3).



Muestras de biochar obtenidas de lodos de depuradora (MBLD1, MBLD2 y MBLD3).

