



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CUENCA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**PIRÓLISIS DE HUESOS AVÍCOLAS Y PORCINOS Y SU INCIDENCIA A NIVEL DE  
SEMILLERO EN LAS PLANTAS DE COL.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR: JUAN CARLOS TORRES TORRES**

**DIRECTOR: ING. MANUEL SALVADOR ÁLVAREZ VERA PhD**

**CUENCA - ECUADOR**

**2022**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA INGENIERÍA, INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**PIRÓLISIS DE HUESOS AVÍCOLAS Y PORCINOS Y SU INCIDENCIA A NIVEL DE  
SEMILLERO EN LAS PLANTAS DE COL.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR: JUAN CARLOS TORRES TORRES**

**DIRECTOR: ING. MANUEL SALVADOR ÁLVAREZ VERA PhD**

**CUENCA - ECUADOR**

**2022**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**

## Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

**Juan Carlos Torres Torres** portador de la cédula de ciudadanía N° **0150595478**. Declaro ser el autor de la obra: **“Pirólisis de huesos avícolas y porcinos y su incidencia a nivel de semillero en las plantas de col”** sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, **12 de abril de 2022**

F: .....



Juan Carlos Torres Torres

0150595478

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Juan Carlos Torres Torres, bajo mi supervisión.



---

**Ing. MANUEL SALVADOR ALVAREZ VERA Ph.D.**  
**DIRECTOR**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicado a mis pilares fundamentales; mis padres por su cariño, paciencia apoyo e inculcación del valor de la perseverancia hasta alcanzar mis sueños, a mis queridos hermanos y hermanas por ser mi gran soporte en este caminar.

Dedico también a mi bella y amada hija Aracely por ser mi gran inspiración, felicidad, motivo y razón fundamental para continuar día tras día con esfuerzo y dedicación en busca de nuevas oportunidades.

## **AGRADECIMIENTOS**

Eterno agradecimiento a mi Dios por regalarme la vida, guiarme en el camino y llenarme de bendiciones en cada detalle; con salud, fuerza y perseverancia en todo momento.

Mi infinito agradecimiento también a mis admirados y queridos padres, hermanos y hermanas por obsequiarme el espacio, apoyo y motivación incondicional durante todo el tiempo de mi formación.

Mi perdurable agradecimiento a mis tutores Dr. Manuel Álvarez y Dr. Juan Carlos Cobos por orientarme mediante sus conocimientos, confianza y apoyo constante. A la institución forjadora de mi conocimiento Universidad Católica de Cuenca, por regalarme la oportunidad de formar parte del establecimiento, en el que se me otorgó los instrumentos necesarios para mi desarrollo.

A mis grandes amigos por obsequiarme un espacio, apoyo y ayuda, en el que compartimos gratos momentos.

## RESUMEN

La biomasa sin tratamiento es una de las causas principales de la contaminación ambiental. El objetivo principal de la investigación fue producir biocarbón a partir de huesos avícolas y porcinos, posteriormente se evaluó la incidencia en las plantas de col a nivel semillero. La investigación se realizó en tres etapas: i) producción de biocarbón a partir de huesos avícolas y porcinos en un horno reactor eléctrico; ii) caracterización del biocarbón mediante pruebas de laboratorio; iii) evaluación de la incidencia del biocarbón en las plantas de col a nivel de semillero. Se comparó las características del biochar notándose semejanza en sus contenidos. Para la evaluación en el desarrollo de las plantas se aplicó un diseño de bloques al azar, se contó con dos tipos de biocarbón: B1 (porcino), B2 (avícola) y tres dosis: D1 (2%), D2 (5%), D3 (7%), más un tratamiento de control, total siete tratamientos: T1 (B1D1), T2 (B1D2), T3 (B1D3), T4 (B2D1), T5 (B2D2), T6 (B2D3) y T7 (Testigo). En los tratamientos T1 y T2 se obtuvo un mayor desarrollo de la longitud de la raíz y de la plántula, presentaron diferencias estadísticas significativas con respecto al tratamiento control; mientras que los tratamientos T2, T3, T5 y T6 presentaron valores inferiores al tratamiento control. En la evaluación del peso de la raíz, peso de la plántula y número de hojas, ningún tratamiento presentó diferencia significativa con respecto al testigo. Con la aplicación de 2% de biocarbón, se favoreció el desarrollo y crecimiento de las plantas de col a nivel de semillero.

*Palabras clave:* biomasa, horno reactor, biocarbón, caracterización, plántula

## **ABSTRACT**

Untreated biomass is one of the main causes of environmental pollution. The main objective of the research was to produce biochar from poultry and swine bones, then the impact on cabbage plants at the seedling level was evaluated. The research was carried out in three stages: i) production of biochar from poultry and swine bones in an electric reactor oven; ii) characterization of biochar through laboratory tests; iii) evaluation of the impact of biochar on cabbage plants at the seedling level. The characteristics of the biochar were compared, noting similarities in their contents. For the evaluation of plant development, a randomized block design was applied, with two types of biochar: B1 (swine), B2 (poultry), and three doses: D1 (2%), D2 (5%), D3 (7%), plus a control treatment, for a total of seven treatments: T1 (B1D1), T2 (B1D2), T3 (B1D3), T4 (B2D1), T5 (B2D2), T6 (B2D3) and T7 (Control). In treatments T1 and T2, greater development of root and seedling length was obtained, presenting significant statistical differences for the control treatment; while treatments T2, T3, T5, and T6 presented lower values than the control treatment. In the evaluation of root weight, seedling weight, and the number of leaves, no treatment showed significant differences concerning the control. The application of 2% biochar favored the development and growth of cabbage plants at the seedling level.

*Keywords:* biomass, reactor oven, biochar, characterization, seedlin

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|   |              |
|---|--------------|
| DECLARATORIA  | i            |
| CERTIFICACIÓN   | ii           |
| DEDICATORIA   | iii          |
| AGRADECIMIENTOS   | iv           |
| RESUMEN   | v            |
| ABSTRACT  | vi           |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS  | vii          |
| LISTA DE FIGURAS  | x            |
| LISTA DE TABLAS   | xii          |
| LISTA DE ANEXOS   | xiii         |
| <b>CAPÍTULO I</b>   | <b>- 1 -</b> |
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b>  | <b>- 1 -</b> |
| 1.1. Objetivos  | - 3 -        |
| 1.1.1 <i>Objetivo general</i>                                     | - 3 -        |
| 1.1.2 <i>Objetivos específicos</i>                                | - 3 -        |
| 1.2 Justificación   | - 4 -        |
| <b>CAPITULO II</b>  | <b>- 5 -</b> |
| <b>2. MARCO TEÓRICO</b>   | <b>- 5 -</b> |
| 2.1 Biomasa   | - 5 -        |
| 2.1.1 <i>Que es la biomasa</i>                                    | - 5 -        |
| 2.1.2 <i>Tipos de biomasa</i>                                     | - 5 -        |
| 2.2 Biomasa residual pecuaria                                     | - 6 -        |
| 2.2.1 <i>Residuos de origen animal</i>                            | - 7 -        |
| 2.2.2 <i>Huesos como residuos</i>                                 | - 7 -        |
| 2.2.3 <i>Tratamientos de los residuos porcinos y avícolas</i>     | - 8 -        |
| 2.2.4 <i>Impactos ambientales de la biomasa avícola y porcina</i> | - 8 -        |
| 2.3 El biocarbón  | - 9 -        |
| 2.3.1 <i>Origen</i>   | - 9 -        |
| 2.3.2 <i>Descripción del biocarbón</i>                            | - 10 -       |
| 2.3.3 <i>Fuentes</i>  | - 10 -       |
| 2.3.4 <i>Características</i>                                      | - 11 -       |
| 2.3.5 <i>Composición</i>  | - 12 -       |
| 2.3.6 <i>Aplicación en el suelo</i>                               | - 14 -       |

|                      |  |       |        |
|----------------------|--|-------|--------|
| 2.3.7                | <i>Beneficios en el suelo</i>  | _____ | - 15 - |
| 2.3.8                | <i>Pruebas de toxicidad</i>  | _____ | - 16 - |
| 2.4                  | Elaboración del biocarbón  | _____ | - 16 - |
| 2.4.1                | <i>Pirólisis</i>   | _____ | - 17 - |
| 2.4.2                | <i>Procesos de pirólisis</i>   | _____ | - 17 - |
| 2.4.3                | <i>Tipos de pirólisis</i>  | _____ | - 18 - |
| 2.4.4                | <i>Reactor de la pirólisis</i>   | _____ | - 19 - |
| 2.5                  | Col ( <i>Brasica oleracea</i> )  | _____ | - 20 - |
| 2.5.1                | <i>Origen</i>  | _____ | - 20 - |
| 2.5.2                | <i>Características</i>   | _____ | - 20 - |
| 2.5.3                | <i>Taxonomía</i>   | _____ | - 20 - |
| 2.5.4                | <i>Fisiología de la col</i>  | _____ | - 21 - |
| 2.5.5                | <i>Sistema de cultivo</i>  | _____ | - 21 - |
| <b>CAPITULO III:</b> |  |       | - 22 - |
| <b>3.</b>            | <b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>  | _____ | - 22 - |
| 3.1                  | Zona de estudio  | _____ | - 22 - |
| 3.2                  | Población y muestra  | _____ | - 23 - |
| 3.3                  | Metodología  | _____ | - 23 - |
| 3.3.1                | <i>Desarrollo de la investigación</i>  | _____ | - 23 - |
| 3.3.2                | <i>Selección y recolección de la biomasa</i>   | _____ | - 23 - |
| 3.3.3                | <i>Elaboración y caracterización del biocarbón</i>                                     | _____ | - 25 - |
| 3.3.4                | <i>Diseño experimental para la evaluación del efecto del biocarbón</i>                 | _____ | - 28 - |
| 3.3.5                | <i>Siembra de semillas de col</i>  | _____ | - 31 - |
| 3.3.6                | <i>Verificación de la incidencia del biocarbón en las partes de las plantas de col</i> | _____ | - 32 - |
| 3.3.7                | <i>Evaluación de las partes de la col</i>  | _____ | - 32 - |
| 3.4                  | Análisis estadístico   | _____ | - 35 - |
| <b>CAPÍTULO IV</b>   |  |       | - 36 - |
| <b>4.</b>            | <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>  | _____ | - 36 - |
| 4.1                  | Elaboración del biocarbón  | _____ | - 36 - |
| 4.1.1                | <i>Pruebas de pirólisis</i>  | _____ | - 36 - |
| 4.1.2                | <i>Variación de la temperatura en la elaboración del biocarbón</i>                     | _____ | - 36 - |
| 4.1.3                | <i>Rendimiento del biocarbón</i>   | _____ | - 37 - |
| 4.1.4                | <i>Densidad real y aparente</i>  | _____ | - 38 - |
| 4.2                  | Caracterización del biocarbón  | _____ | - 39 - |

|                                   |  |        |
|-----------------------------------|--|--------|
| 4.2.1                             | <i>Análisis físico-químico</i>                           | - 39 - |
| 4.2.2                             | <i>Análisis de nutrientes</i>                            | - 44 - |
| 4.2.3                             | <i>Análisis de componentes principales del biocarbón</i> | - 49 - |
| 4.3                               | Incidencia del biocarbón en las plantas de col           | - 50 - |
| 4.3.1                             | <i>Análisis estadístico de variables</i>                 | - 50 - |
| <b>CAPÍTULO V</b>                 |  | - 62 - |
| <b>5. CONCLUSIONES</b>            |  | - 62 - |
| <b>CAPÍTULO VI</b>                |  | - 63 - |
| <b>6. RECOMENDACIONES</b>         |  | - 63 - |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> |  | - 64 - |
| <b>ANEXOS</b>                     |  | - 72 - |

## LISTA DE FIGURAS

|   |        |
|---|--------|
| <b>Fig. 1:</b> Tipos de biomasa _____   | - 6 -  |
| <b>Fig. 2:</b> Productos del proceso de pirólisis _____                                       | - 18 - |
| <b>Fig. 3:</b> Lugar donde se desarrolló la investigación “Unidad Académica de Posgrados”-    | 22 -   |
| <b>Fig. 4:</b> Materia prima recolectada _____  | - 23 - |
| <b>Fig. 5:</b> Huesos porcinos _____  | - 24 - |
| <b>Fig. 6:</b> Huesos avícolas _____  | - 24 - |
| <b>Fig. 7:</b> Trituración manual de huesos _____   | - 24 - |
| <b>Fig. 8:</b> Huesos triturados _____  | - 24 - |
| <b>Fig. 9:</b> Horno reactor _____  | - 25 - |
| <b>Fig. 10:</b> Dimensiones del horno reactor _____   | - 25 - |
| <b>Fig. 11:</b> Residuos en la cámara interna del horno _____                                 | - 26 - |
| <b>Fig. 12:</b> Biomasa transformada en biocarbón _____                                       | - 26 - |
| <b>Fig. 13:</b> Configuración de tiempo y temperatura del horno para el proceso de pirólisis- | 26 -   |
| <b>Fig. 14:</b> Trituración de biocarbón _____  | - 27 - |
| <b>Fig. 15:</b> Biocarbón empacado _____  | - 27 - |
| <b>Fig. 16:</b> Malla para separar partículas de biocarbón _____                              | - 29 - |
| <b>Fig. 17:</b> Adición del biocarbón al sustrato _____                                       | - 29 - |
| <b>Fig. 18:</b> Esquema experimental de la siembra de las plantas de col _____                | - 30 - |
| <b>Fig. 19:</b> Siembra de semillas _____   | - 31 - |
| <b>Fig. 20:</b> Aspersión de agua en las plantas de col _____                                 | - 31 - |
| <b>Fig. 21:</b> Remojo y lavado de raíz _____   | - 32 - |
| <b>Fig. 22:</b> Raíces extraídas de cada plántula _____                                       | - 32 - |
| <b>Fig. 23:</b> Registro de longitud de raíz _____  | - 33 - |
| <b>Fig. 24:</b> Registro de peso de la raíz _____   | - 33 - |
| <b>Fig. 25:</b> Registro del tamaño de la plántula _____                                      | - 34 - |
| <b>Fig. 26:</b> Registro de peso de la plántula _____   | - 34 - |
| <b>Fig. 27:</b> Número de hojas de la plántula _____  | - 35 - |
| <b>Fig. 28:</b> Variación de temperatura - tiempo en el proceso de pirólisis _____            | - 37 - |
| <b>Fig. 29:</b> Porcentaje de rendimiento del biocarbón avícola y porcino _____               | - 38 - |
| <b>Fig. 30:</b> Densidad real y aparente del biocarbón avícola y porcino _____                | - 39 - |
| <b>Fig. 31:</b> Potencial de hidrogeno en biocarbón avícola y porcino _____                   | - 41 - |
| <b>Fig. 32:</b> Conductividad eléctrica del biocarbón avícola y porcino _____                 | - 41 - |
| <b>Fig. 33:</b> Materia orgánica resultante del biocarbón avícola y porcino _____             | - 42 - |

|  |        |
|--|--------|
| <b>Fig. 34:</b> Carbono orgánico total del biocarbón avícola y porcino _____           | - 43 - |
| <b>Fig. 35:</b> Relación carbono - nitrógeno del carbón avícola y porcino _____        | - 44 - |
| <b>Fig. 36:</b> Nitrógeno presente en el biocarbón avícola y porcino _____             | - 45 - |
| <b>Fig. 37:</b> Fósforo en el biocarbón avícola y porcino _____                        | - 45 - |
| <b>Fig. 38:</b> Potasio del biocarbón avícola y porcino _____                          | - 46 - |
| <b>Fig. 39:</b> Calcio del biocarbón avícola y porcino _____                           | - 47 - |
| <b>Fig. 40:</b> Sodio en el biocarbón avícola y porcino _____                          | - 48 - |
| <b>Fig. 41:</b> Magnesio en el biocarbón avícola y porcino _____                       | - 48 - |
| <b>Fig. 42:</b> Componentes principales del biocarbón avícola y porcino _____          | - 49 - |
| <b>Fig. 43:</b> Boxplots de la longitud de raíces de las plántulas de col _____        | - 52 - |
| <b>Fig. 44:</b> Diagrama de cajas del peso de las raíces de las plántulas de col _____ | - 55 - |
| <b>Fig. 45:</b> Diagrama de cajas de la altura de las plántulas de col _____           | - 57 - |
| <b>Fig. 46:</b> Boxplots del peso de la parte aérea de las plántulas de col _____      | - 59 - |
| <b>Fig. 47:</b> Diagrama de cajas del número de hojas de las plántulas de col _____    | - 61 - |

## LISTA DE TABLAS

|   |        |
|---|--------|
| <b>Tabla 1:</b> Composición de los huesos de origen animal _____  | - 8 -  |
| <b>Tabla 2:</b> Componentes principales del biocarbón _____   | - 13 - |
| <b>Tabla 3:</b> Tipos de pirólisis, escenarios y fracciones en porcentaje de los recursos__                           | - 19 - |
| <b>Tabla 4:</b> Taxonomía de la col _____   | - 20 - |
| <b>Tabla 5:</b> Metodología aplicada para determinar las características físico-químicas del biocarbón _____          | - 28 - |
| <b>Tabla 6:</b> Dosis de aplicación de biocarbón al suelo por tratamiento _____                                       | - 29 - |
| <b>Tabla 7:</b> Pruebas de pirólisis empleadas para los dos tipos de residuos _____                                   | - 36 - |
| <b>Tabla 8:</b> Rendimiento del biocarbón obtenido durante la experimentación _____                                   | - 37 - |
| <b>Tabla 9:</b> Caracterización físico-química del biocarbón avícola y porcino _____                                  | - 40 - |
| <b>Tabla 10:</b> Resultados de la longitud de la raíz de la plántula de col, 36 días posteriores de la siembra _____  | - 51 - |
| <b>Tabla 11:</b> Resultados del peso de la raíz de la plántula de col, 36 días posteriores de la siembra _____        | - 54 - |
| <b>Tabla 12:</b> Resultados de la altura de la plántula de col, 36 días posteriores de la siembra _____               | - 56 - |
| <b>Tabla 13:</b> Resultados del peso de la parte aérea de la plántula de col, 36 días posteriores de la siembra _____ | - 58 - |
| <b>Tabla 14:</b> Resultados del número hojas de la plántula de col, 36 días posteriores de la siembra _____           | - 60 - |

## LISTA DE ANEXOS

|  |        |
|--|--------|
| <b>Anexo 1:</b> Diseño del horno reactor eléctrico _____               | - 72 - |
| <b>Anexo 2:</b> Análisis de los componentes del biocarbón _____        | - 73 - |
| <b>Anexo 3:</b> Análisis estadístico de la longitud de la raíz _____   | - 74 - |
| <b>Anexo 4:</b> Análisis estadístico del peso de la raíz _____         | - 75 - |
| <b>Anexo 5:</b> Análisis estadístico de la altura de la plántula _____ | - 76 - |
| <b>Anexo 6:</b> Análisis estadístico del peso de la plántula _____     | - 77 - |
| <b>Anexo 7:</b> Análisis estadístico del número de hojas _____         | - 78 - |

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

El permanente crecimiento de la población humana da origen a la producción masiva de una variedad de alimentos para su consumo, entre ellos están los productos cárnicos, los cuales no son aprovechados al 100%, por tanto, es aquí donde surge la generación de residuos orgánicos de esta categoría, que hasta el momento no poseen un tratamiento adecuado, lo que ocasiona un problema ambiental (Obregón, 2019). La gestión inadecuada de estos residuos genera impactos negativos notorios que pueden llegar a contaminar: agua, suelo, aire y ecosistemas en general, siendo también un aporte al cambio climático y por tanto afectando directamente a la salud humana, sin embargo, el aprovechamiento de estos residuos mediante una buena gestión se puede convertir en recursos reutilizables que contribuyan a un desarrollo sostenible (Trujillo, 2017).

Según Rodríguez et al. (2019), en el Ecuador, la cadena industrial de carne produce diferentes especies de animales en el que destacan: pollo, cerdo, res y bovinos, de los cuales pertenecen: 573,2 mil toneladas a la carne de pollo; 173,2 mil toneladas a la carne porcina y 200 mil toneladas a la carne de ganado vacuno, en el que el consumo per cápita anualmente corresponde a las siguientes cifras: 33, 11 y 10 kilogramos respectivamente. García (2011), menciona que de toda la producción de estas especies de animales procedentes de industrias o camales surgen diferentes residuos como: huesos, plumas, pelos, incluyendo también a estiércoles entre otros, representando alrededor del 21% del peso total del animal, en el que a esta biomasa residual se le considera como un subproducto de valor económico cero. Sin embargo, estos residuos poseen altas concentraciones de potasio, calcio, fósforo y nitrógeno, que al aplicar un cierto tratamiento puede resultar como una contribución indispensable para el medio ambiente.

Con el propósito de reducir los efectos secundarios negativos que pueden producir los residuos de origen animal al no ser tratados, se busca según Garcia (2011), adoptar alternativas de tratamiento, en el que mediante una gestión se puede dar origen a la reutilización eficiente de los mismos, que finalmente se convertirán en productos de valor, siendo un aporte de concientización para los consumidores del impacto medioambiental que estos residuos pueden generar.

El proceso termoquímico de los desperdicios orgánicos es una de las alternativas que se propone para el tratamiento de los restos óseos de los animales que se origina diariamente por la sociedad consumidora, en donde al atravesar por un proceso de pirólisis lenta se busca obtener un biocarbón para luego ser aprovechados como fertilizante orgánico de beneficio para el progreso de los vegetales (Gómez et al., 2016). El biocarbón se origina por la disgregación térmica de componentes orgánicos con un delimitado abastecimiento de gas atmosférico, con tazas de

calentamiento menores a los 700 °C y que tiene una finalidad de uso agrario, convirtiéndolo en un material distinto al carbón activado y el usado para combustión (Escalante et al., 2016).

El biochar puede ser un contribuyente nutritivo para el suelo de manera directa, siendo un aporte para la evolución de las plantas por la capacidad de retención de nutrientes propios del suelo, como también minimiza la pérdida de estos por efectos de la lixiviación, regula: el pH, la actividad biológica de los suelos y a su vez los nutrientes varían de acuerdo a los tipos de materia prima usada para la pirólisis, como es el caso de los de origen animal el cual poseen mayores concentraciones de nitrógeno (N) y fósforo (P) que los de materia prima de origen vegetal (Gozález et al., 2020).

La intención de esta investigación fue obtener biocarbón a partir de huesos de animales avícolas y porcinos tomados como biomasa residual, en donde la transformación de este residuo a un recurso mediante un proceso de pirólisis, se convirtió en un producto de utilidad, el que fue analizado para evaluar su composición antes de ser aplicado al suelo y así comprobar su incidencia en las plantas de col.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo general**

Producir biocarbón mediante el proceso de pirólisis a partir de los huesos de animales avícolas y porcinos para evaluar la incidencia que tiene a nivel de semillero en las plantas de col.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Determinar las características físico-químicas del biocarbón proveniente de los huesos de aves.
- Establecer las propiedades físicas y químicas del biocarbón procedente de los huesos de animal porcino.
- Evaluar la incidencia del biocarbón obtenido a partir de huesos de animales en la fase inicial de crecimiento de la planta de col a nivel de semillero.

## 1.2 Justificación

Esta investigación busca implementar una alternativa de reutilización de los huesos de animales porcinos y avícolas, además de aprovechar los residuos cárnicos que se generan diariamente debido a la gran demanda de alimentos que existe en las ciudades, se espera que huesos y otros, después de sufrir una descomposición térmica se transforme en un recurso de utilidad y de valor que ayude a contribuir a la calidad del suelo como un compuesto de nutrientes que aumente su fertilidad y mejore el rendimiento de la producción de alimentos.

En la actualidad la indagación de diversas energías sustentables como fuentes de producción para la elaboración de productos fertilizantes que sean amigables con el medio ambiente, son opciones para generar industrias que mantengan una economía circular, por el cual el aprovechamiento de los residuos tomados como materia prima para la obtención de biocarbón se presenta como una opción dentro del campo industrial (Manrique & Sanchez, 2020).

Lima et al. (2017), menciona que varias investigaciones ya han demostrado que, para un tratamiento térmico, se pueden utilizar diferentes residuos como biomasas para el aporte de nutrientes en el suelo mediante los cuales la biomasa se transforma en biocarbón, minimizando la emisión de gases contaminantes para convertir en un biocarbón con propiedades óptimas para ser aplicados en suelos pobres.

Este estudio procura colaborar con resultados positivos de la incidencia del biochar aplicado a nivel de semillero en las plantas de col, es importante aportar con investigaciones de los efectos producidos por el biocarbón, considerando las interacciones de los diferentes tipos de materia usada para la producción del mismo.

## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Biomasa

##### 2.1.1 Que es la biomasa

La biomasa se refiere a aquellos desechos que proceden de materia vegetal o animal, que son susceptibles a procesos de degradación, convirtiéndose a materia orgánica, los residuos orgánicos son todos aquellos desechos de comida, cárnicos, frutas, hortalizas, legumbres, huevos, y otros, clasificados de acuerdo a su naturaleza y su característica física; al analizar la biomasa es indispensable precisar las características fisiológicas como compuestos resolubles en H<sub>2</sub>O; glucosa, almidones, aminoácidos, ácidos orgánicos, celtiberos, lípidos, aceites, proteínas, ya que pueden ser transformados ecológicamente en fluidos y concretos orgánicos inertes (González et al., 2016).

Según el Instituto para la diversificación y ahorro de la energía (2007), actualmente existe una pluralidad de modalidades para dar utilidad a los residuos, pero están anclados a niveles de complejidad debido a su origen y composición, la mayoría de la biomasa es usada como una fuente para obtener un producto útil mediante la combustión del residuo, sin tener la necesidad del uso de algún tipo de biotecnología. Sin embargo, existen otras utilidades sencillas que se le puede dar a la biomasa como es la conversión a fertilizantes orgánicos mediante técnicas de compostaje o métodos termoquímicos, como el uso de subproductos agropecuarios para la elaboración de biocombustibles en el que se aplican ciertas biotecnologías para su elaboración (Garcia & Martínez, 2014).

Se le delimita a la biomasa como un fragmento biodegradable de los subproductos, restos o desechos de procedencia biológica de actividades agropecuarias, también se le considera como energía renovable, ya que su formación se a da a partir de la luz solar, captando energía, mediante el proceso de fotosíntesis y su función es absorber CO<sub>2</sub> de la atmósfera y agua del suelo, capacidad propia de las plantas; posteriormente algunas de estas plantas sirven de alimento para ciertos animales por lo que esta energía es transformada, surgiendo nuevos residuos o subproductos que pueden ser convertidos y usados como recursos energéticos (Herguedas et al., 2012).

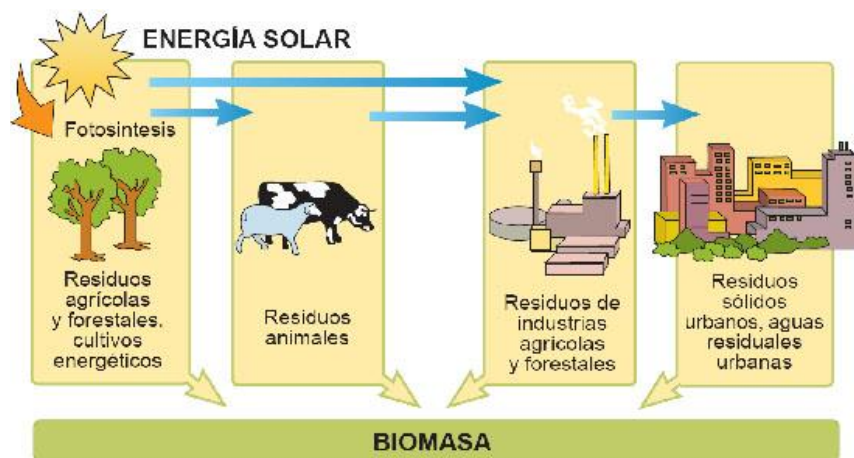
##### 2.1.2 Tipos de biomasa

La biomasa posee una gran variedad de clasificaciones sea por su composición o su estado, pero la más reconocida y estudiada es de acuerdo a su origen.

Herguedas et al., (2012), clasifica el origen de la biomasa de la siguiente manera: residual y cultivos energéticos.

### a. Biomasa residual

Se le considera biomasa residual al subproducto originado a partir de actividades antropogénicas o naturales, entre los subproductos que más destacan como residuos son aquellos procedentes de actividades agrícolas, forestales, industriales, pecuarios, sólidos urbanos, aguas residuales, aceites usados alimentarios (Fig. 1), en el que pueden ser obtenidos de uno o diferentes productos (Gómez, 2015).



**Fig. 1:** Tipos de biomasa

**Fuente:** Herguedas et al., (2012)

### b. Biomasa de cultivos energéticos.

La biomasa de cultivos energéticos, es aquella que se obtiene a partir de las plantaciones agrícolas, cultivos con un único propósito de ser explotados (Ossa, 2012). Los cultivos o materia prima son propiamente destinados para el uso industrial, se puede numerar de diferentes maneras: de acuerdo al suelo en el que se desarrollan, según el producto que se obtiene y la disposición final de aprovechamiento, por otro lado se pueden clasificar en: cultivos oleaginosos, cultivos alcoholígenos, y cultivos lignocelulósicos, los cultivos energéticos suelen ser aptos para diferentes aplicaciones térmicas, en el que se puede obtener diferentes utilidades como: obtención de biocarburantes, producción de combustibles, generación de energía simple (Instituto para la diversificación y ahorro de la energía, 2007).

## 2.2 Biomasa residual pecuaria

Son elementos que se les define como restos o excedentes de la elaboración de un producto de origen pecuario, dispuestos necesariamente para una gestión y tratamiento, dentro de los desechos pecuarios se encuentran los purines y estiércoles del sector ganadero (vacuno, ovino, porcino, entre otros) que poseen un contenido nocivo para el medio ambiente, debido a que la

biomasa residual pecuaria está formada por diferentes tipos de compuestos, entre ellos están: almidones, proteínas, grasas, aceites, y material lignocelulósico (Huaraya et al., 2020).

Los residuos pecuarios mantienen un elevado porcentaje de humedad y para darle un tratamiento a esta biomasa convirtiéndolo a un recurso energético, es necesario que el residuo este por debajo del 40 % de humedad, es por eso que para el tratamiento de estiércoles se aplica un proceso de digestión anaerobia, sin embargo para otros desechos con mínimas cantidades de humedad se puede aplicar tratamientos termoquímicos (Iman, 2021).

### **2.2.1 Residuos de origen animal**

Los residuos de procedencia animal son aquellos desechos que vienen de la crianza, faenamiento, o procesamiento de carnes, sean estas sus excretas, cueros, pelaje, huesos, sangre vísceras entre otros (Obregón, 2019).

### **2.2.2 Huesos como residuos**

El hueso es un tejido que está conformado por diferentes compuestos tales como: minerales, proteínas, agua, células entre otros, aunque estas sustancias varían de acuerdo a la ubicación de los huesos en el cuerpo, estos desechos orgánicos se puede conseguir fácilmente, por el alto nivel de consumo de productos cárnicos (Ramos, 2019). La composición de la matriz intercelular de los huesos principalmente está formada por lípidos, proteínas, colágeno y ciertos elementos químicos: calcio, magnesio, sodio, potasio, etc.; lo que permite realizar exploraciones de acuerdo a sus características para aprovechar estos residuos (Gonzaga & Basurto, 2018).

#### ***a. Características de los huesos animales***

Los huesos están compuestos principalmente entre un 45% de minerales, 25 % de agua y un 30% de materia orgánica, en la Tabla 1 se muestra el porcentaje de otros componentes, los huesos de acuerdo a su forma y función se pueden clasificar en huesos largos, cortos, planos y se conforman de un tejido óseo rígido y una membrana circundante (Murillo, 2011). El fosfato de calcio es el mayor componente que tienen los huesos de algunos mamíferos, en el que puede desarrollar diferentes funciones dependiendo del tipo de tratamiento que se le aplique, como: elaboración de abonos orgánicos fertilizantes, fabricación de vidrio, complementos alimenticios, se usa también en la rama de la medicina por su capacidad de restauración y compatibilidad, en el que generalmente es usado en odontología, oftalmología y ortopedia (Ramos, 2019).

**Tabla 1:** Composición de los huesos de origen animal

| <b>Componentes</b>  | <b>Porcentaje</b> |
|---------------------|-------------------|
| Fosfato de calcio   | 57,35%            |
| Carbonato de calcio | 3,85%             |
| Fosfato magnésico   | 2,05%             |
| Cloruros sódicos    | 3,45%             |
| <b>Resultante</b>   | <b>100%</b>       |

Fuente: Ramos (2019).

### **2.2.3 Tratamientos de los residuos porcinos y avícolas**

A los desechos de origen pecuario no se les considera como residuos sólidos urbanos por lo que se les exige someterse a algún tipo de tratamiento antes de la disposición final o procedimiento de valorización, entre los tratamientos que se puede aplicar a estos residuos sólidos se establecen los siguientes: pirólisis, solidificación, trituración, gasificación, biosecado, incineración, estabilización, neutralización, entre otros (Fernández, 2017). Los residuos orgánicos procedentes de actividades agroindustriales y agropecuarias pueden adoptar estos tratamientos con el propósito de mitigar o neutralizar sustancias contaminantes, aprovechando su contenido mediante la transformación , mejorando en este sentido la gestión de tales desechos (Iman, 2021).

Murillo (2011), propone como gestión de los subproductos animales, específicamente de los huesos, someter al tratamiento de incineración como un sistema de eliminación, debido a que estos desechos son biodegradables y al no tener un manejo adecuado pueden ser causantes de riesgos ambientales y sanitarios, por su capacidad de contaminar los ecosistemas con facilidad. Los huesos al ser sometidos a procesos térmicos se convierten en carbones llamados también como carbón animal, en el que se puede transformar en harina de huesos, para posteriormente ser mezclados con alimentos balanceados por sus altos contenidos nutritivos (Ramos, 2010).

### **2.2.4 Impactos ambientales de la biomasa avícola y porcina**

Debido a la gran demanda del consumo de productos cárnicos, se origina la constante producción de animales porcinos y avícolas, siendo el principal impacto ambiental aquel relacionado con la generación de excretas, sin embargo, mediante un manejo adecuado se puede mitigar el aumento de gases de efecto invernadero, es por ello que al pasar el tiempo surgen cuestionamientos importantes para implementar tratamientos a estos desechos (Medina, 2015).

Al no tener un tratamiento adecuado, los desechos generados por las actividades avícolas y porcinas, alcanzan sin duda un gran contenido volumétrico de sustancias contaminantes, siendo las causantes principales de impactos ambientales negativos, convirtiéndose en fuentes principales de contaminación, debido a la emisión de olores desagradables, como las emisiones de amoníaco que

surgen directamente de las excretas de estos animales, afectando al aire y a las comunidades cercanas (Moran & Naranjo, 2013).

## **2.3 El biocarbón**

### **2.3.1 Origen**

Este producto se originó en tierras negras de los nativos amazónicos en Brasil, fue descubierto por Smith en 1879 y Hartt en 1885, denominándolo como Terra Preta que significa tierra negra, dichos personajes constataron la presencia de este tipo de suelos negros y productivos en estas tierras amazónicas, existe un supuesto de que aquellas tierras fueron mejoradas por los nativos, debido al arrojamiento de materia orgánica, producto de la incineración de la biomasa presente, convirtiendo de esta forma a los suelos muy productivos, por la adición de estas sustancias nutritivas (Lehmann & Joseph, 2009). La alta concentración de nutrientes que se hallan en dichas tierras son: fósforo, calcio y potasio, aportan a tales suposiciones y se considera que el origen de estos suelos oscuros se da a partir de incendios causados accidental e intencionalmente con el propósito de suprimir las malezas o a su vez de destruir las áreas forestales para agrandar su frontera agrícola. Aun así, en la actualidad se reconoce que la Terra Preta fue un sistema de gestión de suelos realizados por los indígenas amazónicos (Escalante et al., 2016).

Lehmann & Joseph (2009), también menciona que el descubrimiento del biocarbón yacieron en las localidades amazónicas conocidas como Terra Preta de Indio, ya que estos suelos negros contiene sustancias con grandes cantidades de carbón orgánico y buena fertilidad, este biocarbón ha estado conectado con frecuencia al suelo y ha sido un manejo practicado por antiguas poblaciones antes de la conquista europea y el desarrollo de civilizaciones en la región amazónica. La sabiduría precolombina, descubierta por tales suposiciones y fundamentos científicos indican que la investigación de Terra Preta también ha arrojado información básica importante sobre el funcionamiento de suelos, en general, y en el efecto del biocarbón, en particular (Rosas, 2015).

Amoah (2019), señala registros existentes de tipos de suelo similares en otros lugares de la tierra, en el que incluye: Benín en África occidental, las sabanas de Sudáfrica, México, Borneo, Estados Unidos y en Japón, tales descubrimientos aluden que mejorar la fertilidad del suelo agregando biomasa era un lugar común en todo el mundo, por ejemplo en lugares de Finlandia, existía una práctica similar llamada kytö; este era un tipo de biocarbón producido por la incineración de madera que se utilizaba como un medio para aumentar la productividad del suelo y reducir la incidencia de plagas y enfermedades.

### **2.3.2 Descripción del biocarbón**

Es un recurso con altas concentraciones de carbono que se consigue de los residuos orgánicos a partir de una descomposición térmica que se le denomina también como un proceso de pirólisis en el que se somete a temperaturas que oscilan entre 400 y 600 °C con un escaso abastecimiento de oxígeno, de acuerdo a la estructura física y biológica, el biocarbón es más resistente que la materia orgánica debido a que por su contenido puede acrecentar la provisión de carbono en el suelo y permanecer por largos periodos en este (Rosas, 2015). El biocarbón se le aplica en la tierra con el propósito de contribuir como sustancia fertilizante para mejorar el rendimiento de producción de vegetales por su capacidad reguladora de pH, aumento de microorganismos, de nutrientes y mejora de las propiedades del suelo (Balladares, 2020).

El biocarbón mantiene las características y los componentes de los residuos orgánicos, al ser sometidos a un tratamiento térmico estos se incrementan liberándose para ser aplicados al suelo y aumentando su concentración nutritiva, es un recurso que se adquiere de la calcinación de los residuos y sus características son similares al carbón vegetal (Obregón, 2019).

Netherton (2013), define al biocarbón como biomasa descompuesta térmicamente que se emplea deliberadamente al suelo para regenerar sus propiedades, por nomenclatura el biocarbón es muy semejante al carbón vegetal, pero este es un combustible mas no una enmienda para suelo, sin embargo los métodos de producción de biocarbón abarcan procesos tecnológicamente avanzados, diseñados para construir instrumentos de producción de energía limpia y renovable.

El biocarbón se le considera también como un coproducto carbonizado conformado por materiales orgánicos y minerales que se elaboran de forma sostenible, en el que se aplica tecnologías limpias bajo parámetros controlados, que se adquiere mediante técnicas de pirólisis o gasificación (Kelpie, 2014). A través de tales técnicas las porciones de lignina, hemicelulosa y celulosa, rompen sus enlaces químicos, mediante la volatilización, fragmentación y despolimerización, transformándolo en recursos como aceites, alquitranes, productos volátiles de acuerdo al tipo de tecnología a usarse., aun así, el recurso que más se elabora por el método de pirólisis de la biomasa es el biocarbón que se usa como un mejorador de los parámetros de la tierra por tener la capacidad retención de agua y secuestro de carbono (Cuenca, 2019).

### **2.3.3 Fuentes**

Existe una gran variedad de residuos que sirven como insumos para la elaboración del biocarbón, pero se debe tomar muy en cuenta que no todos estos productos son aptos para su elaboración, una de las consideraciones muy importantes que se debe acatar al momento de elegir una materia prima es que esta no debe superar el valor económico al valor del biocarbón o a su vez que sean competitivos con la fabricación de alimentos, bienes y servicios ambientales (Rosas, 2015).

Entre los desechos más comunes que se usan para la elaboración del biocarbón están: podas de árboles, desechos de cosecha, residuos de papel, cáscara de arroz, desechos de aceituna, residuos orgánicos urbanos; frutales vegetales, residuos de origen animal; huesos, estiércol, vísceras entre otros, sin embargo los residuos que se usan como materia prima para la producción del biocarbón proporcionan diferentes reacciones químicas luego de ser sometidos al proceso de pirólisis por lo que cada residuo convertido contiene características específicas (Escalante et al., 2016).

Generalmente el biocarbón se deriva de una variedad de materias primas agro residuales que han sido térmicamente degradadas por diferentes condiciones en el que demuestran un rango variado de su composición química (Guerra, 2015). Debido a la complejidad del conjunto de reacciones químicas que sufren durante el proceso térmico, generan un grado de heterogeneidad química que puede extenderse hasta una escala microscópica, incluso dentro de un solo biocarbón, por tanto, cada biocarbón producido con una biomasa particular y la combinación de ciertos procesos, presenta una mezcla de fases y microambientes que dan lugar a un conjunto único de sustancias químicas (Lehmann & Joseph, 2009).

#### **2.3.4 Características**

El biocarbón tiene ciertas características que los diferencian del carbón vegetal normal, el uso de este recurso como sustancia para la mejora del suelo o de cualquier otra forma que no permita el retorno del carbono de la biomasa hacia la atmósfera, lo distingue del carbón vegetal habitual que se utiliza ampliamente como una utilidad energética (Iglesias, 2018). Tanto el carbón vegetal como el biocarbón se describen como materiales carbonosos pirogénicos, lo que implica su producción mediante pirólisis; descomposición termoquímica de sustratos biodegradables en limitada presencia de oxígeno o completamente nulo (Amoah, 2019).

Los residuos al ser transformados en biocarbón adquieren las siguientes características: convertirse en un sólido carbonoso, con una tonalidad negra, con una cobertura enredada y desordenada, pero esto a su vez pueden ser diferentes de acuerdo al tiempo y tipo de pirólisis aplicada, presenta una alta porosidad por lo general su apariencia es amorfa y sus partículas son de diferente tamaño, esto depende del tipo de material (residuo) que se utiliza para su transformación (Escalante et al., 2016).

Huerta (2019), enlista dos características importantes que tiene el biocarbón, una de estas características se le denomina como absorción, en el que depende del número y dimensión de los orificios que posee la morfología del biocarbón, permitiéndolo tener la capacidad de ingerir agua y nutrientes. Otra de las características significativas del biocarbón se le denomina como adsorción, pero esta es dependiente de la contextura interior, exterior y la carga eléctrica, para tener la capacidad de atraer y retener cargas de componentes opuestos. Sin embargo, se debe considerar también el tipo de biomasa residual que se use para la elaboración del biocarbón.

Kelpie (2014), alude que otra de las características especiales del biocarbón se da en el instante en que es sacado del horno, su estructura externa sufre procesos de oxidación surgiendo nuevos componentes, a tales transformaciones se les llama "grupos funcionales", los componentes que se forman son: carbono, oxígeno e hidrógeno y estos a su vez tienen la capacidad de acoplarse a minerales y nutrientes, así como también los aros de carbono pueden soportar reacciones y transportar electrones hasta la población microbiana presentes en el biocarbón, mejorando el metabolismo y ciclo de nutrientes.

Para determinar las particularidades físico-químicas del biocarbón, depende del tipo de biomasa residual y a su vez el tipo de tratamiento de pirólisis que se use, el nivel de temperatura, la rapidez de calentamiento y el tiempo, por otro lado la cantidad nutritiva y el tipo biocarbón que se obtiene es dependiente de la calidad de la biomasa residual, por ende, los residuos con mayor valor nutritivo, se transforman en un biocarbón resultante de mayor eficacia (Gozález et al., 2020).

### **2.3.5 Composición**

Cuenca (2019), menciona que los componentes del biocarbón así como de sus características, por lo general serán dependientes de la biomasa y de los escenarios en los que se realice la elaboración de este producto y el tipo de biorreactor que se utilice para el tratamiento de pirólisis. McLaughlin et al. (2009), divide al biocarbón con los siguientes componentes: humedad, materia volátil que se vaporiza cuando la masa alcanza temperaturas hasta 1000 °C, carbono fijo representado la cantidad de biocarbón transformado y cenizas que quedará después del proceso de combustión.

Arévalo (2019), el biocarbón posee una composición muy variada de componentes, en el que se encuentran diferentes propiedades físicas y químicas, según un análisis básico de laboratorio se puede evaluar los siguientes parámetros: materia volátil, carbono fijo, humedad, cenizas, potencial de hidrogeno, conductividad eléctrica, calcio sodio, potasio, fosforo, nitrógeno, entre otros.

En la Tabla 2 se detalla el rango de concentración en porcentaje de algunos de los componentes principales que contiene un biocarbón.

**Tabla 2:** Componentes principales del biocarbón

| <b>Componentes</b> | <b>Rango de Concentración (%)</b> |
|--------------------|-----------------------------------|
| Carbono fijo       | 50 - 90                           |
| Volátil            | 0 - 40                            |
| Humedad            | 1 - 15                            |
| Cenicilla          | 0,5 -5                            |

**Fuente:** Cuenca (2019).

#### **a. Carbono fijo**

Es el restante del contenido inicial luego de la transformación a biocarbón y se establece mediante la resta del porcentaje de la materia volátil y ceniza, se lo define como material permanente que incluye al carbón, al hidrógeno y al oxígeno (Guerra, 2015). Carbón fijo es aquel contenido que no se volatiliza a 950 °C y que no es ceniza (Manrique & Sanchez, 2020).

#### **b. Volátiles**

McLaughlin et al. (2009), mencionan que a la materia volátil se le puede cambiar por materia móvil debido a que su eliminación no precisamente se da por la transformación a gas sino también tiene la capacidad de desaparecer por efectos de degradación por microorganismos. Guerra (2015), indica que la materia volátil o móvil se refiere a la disipación o abandono de la biomasa seca, que deja tanto a la ceniza como a otros componentes del biocarbón.

#### **c. Humedad**

La humedad se la establece como a la cantidad de masa de H<sub>2</sub>O que desaparece mediante el proceso de secado, pero adicional al vapor de agua están presentes otros tipos de sustancias como el ácido acético o el metanol considerándolos como solventes orgánicos que suministran humedad (Guerra, 2015).

#### **d. Cenizas**

La ceniza es la parte no orgánica del biocarbón que se encuentra completamente seca, para el uso de las disposiciones finales, este componente puede ser útil para la determinación de algunas propiedades del biocarbón, por lo que su composición principalmente es un material mineral polvoriento que surge luego de atravesar por un tratamiento térmico (Fernández, 2017). Entre los minerales primordiales que puede contener la ceniza se detallan los siguientes: sodio, potasio, calcio, fósforo, azufre entre otros, en el que por lo general tales elementos se hallan como formas de óxidos, fosfatos, sulfuros y cloruros en el biocarbón (Guerra, 2015).

### **2.3.6 Aplicación en el suelo**

Investigaciones realizadas acerca de la aplicación de biocarbón como enmienda orgánica, da paso a la posibilidad de utilizar estos productos como material de recuperación y restauración de suelos desgastados o a su vez sirve como mejora de aquellos suelos con funciones y características definidas (Abenza, 2012). La aplicación de biocarbón se le toma como una alternativa de mitigación y prevención de la desertificación de los suelos (Milesi et al., 2020).

Iglesias (2018), menciona que existen varias aplicaciones del biocarbón, sin embargo la más usada es la aplicación en los trabajos agrícolas, por la capacidad de regenerar la calidad del suelo y aumentar el rendimiento de las labranzas, causando efectos positivos en las cosechas, así como en la calidad de los productos. La aplicación del biocarbón disminuye también el laboreo mecánico por su aporte de mejora, utilizando como enmienda orgánica para el suelo (Moreno, 2017).

#### **a. Dosis**

Trujillo (2017), dice que para determinar el porcentaje de la dosis adecuada para aplicar al suelo dependerá de la cantidad de ensayos experimentales que se ejecuten en el campo de estudio y señala que en la actualidad aún no existe información suficiente, que sirva como guía instructiva de la dosis necesaria para ser aplicada según el ejemplar de cultivo y de suelo, tomando en cuenta que existe una diversidad de materia prima como fuentes para la elaboración de biocarbón, lo que hace que sus propiedades también se diversifiquen, por tanto, influye en la dosis de aplicación.

En la literatura científica, muchos estudios han presentado resultados efectivos de la aplicación de biocarbón en las mejoras de la agricultura, con un rango de dosis muy variado, que van en cantidades de 0,5 hasta 100 t/ha, existe una gran escala, aunque no haya información precisa, pero con el avance de los estudios científicos se podrá demostrar datos más exactos sobre la dosis de aplicación de biocarbón para los cultivos (Maienza et al., 2016).

#### **b. Técnicas de aplicación**

Para un mayor rendimiento del biocarbón usado como suministro para la agricultura Trujillo (2017), propone la siguiente modalidad, distribuir el producto sobre las capas superficiales, siendo este el lugar donde se encuentran la mayor cantidad de las raíces de la vegetación y donde se genera el desarrollo del ciclo nutritivo, sin descartar el sistema de siembra ni las herramientas agrícolas que se usen durante el proceso.

Major (2010), enlista una serie de técnicas o modalidades de aplicación del biochar en el suelo y expone las siguientes: incorporar el biocarbón uniformemente en la parte superior del suelo, con herramientas agrícolas apropiadas que eviten la erosión del mismo, sea por efectos del viento o la precipitación; mezclar el producto con el compost para reducir el mal olor y la pérdida de nitrógeno;

mediante bandas aplicar a lo largo a alrededor de las plantas; se puede aplicar en los hoyos al momento de trasplantar un árbol; entre otras modalidades.

El biocarbón se puede incorporar al terreno solo o combinado con otros elementos como: fertilizantes, compost; en la mezcla con estos casos puede mejorar la eficacia del fertilizante, también se puede combinar con fertilizantes líquidos para reducir olores detestables y las emisiones de amoníaco que contiene las aguas residuales (Maienza et al., 2016).

### **2.3.7 Beneficios en el suelo**

Diversas investigaciones científicas han justificado cómo el biocarbón le da una mejor estructura al suelo, mejorando las propiedades mecánicas al reducir la fuerza de tracción y al mismo instante aumenta la calidad fisiológica del suelo, dando un aporte combinado como una enmienda orgánica para retener sustancias beneficiosas para el campo, así como minimizar el frecuente uso de fertilizantes sintéticos, servirían como una opción rentable ambientalmente para aumentar la calidad de los productos agrícolas (Baronti et al., 2020).

La elaboración de biocarbón mediante tratamientos termoquímicos como la pirólisis se exhibe como un avance tecnológico para tener un control balanceado de carbono, el biochar elaborado de la biomasa residual al ser aplicados al suelo, tiene la capacidad de almacenar el carbono por mucho tiempo, evitando que este CO<sub>2</sub> se incorpore a la atmósfera mitigando los efectos del cambio climático (Liu, 2015). Otro de los productos beneficiosos que se pueden obtener mediante el tipo de pirólisis es la transformación de los residuos en: bioaceites, gas, entre otros; considerándolos como combustibles renovables que pueden remplazar a los combustibles fósiles (Huerta, 2019).

El aporte del biocarbón a los suelos de baja productividad ha dado resultados positivamente prometedores ya que con su contribución agranda la retención de elementos como el fósforo, el nitrógeno que ayuda a la biodisponibilidad en las tierras de cultivo, su aplicación también puede ser un sustituto de fertilizantes químicos mejorando el rendimiento agrícola (Gómez et al., 2016).

Lehmann & Joseph (2009), menciona que la biomasa transformada a biocarbón, puede ayudar a minimizar una de las causas del cambio climático, indirectamente por medio de la reducción de la emisión de CH<sub>4</sub> de los vertederos, disminución del el uso de energía industrial, recuperar energía de los residuos biomásicos, mejorar el secuestro de carbono, entre otros.

El biocarbón posee una gran potencialidad como enmienda agrícola, por tener la capacidad de aumentar la fertilidad del suelo, secuestrar carbono de la atmósfera y mantenerse durante largos períodos, el biochar interactúa con las propiedades del suelo, contextura, estructura, dimensión de los poros y densidad aparente (Guerra, 2015). Estas mejoras, aportan a la aireación de la tierra, la capacidad de conservación de agua, al laboreo y al desarrollo de las plantas, la incorporación de biocarbón a los suelos aumenta la retención de nutrientes, reduciendo así el uso de fertilizantes

químicos, sin embargo, los efectos específicos dependen de la naturaleza del biocarbón utilizado y del sustrato al que se aplica (Amoah, 2019). Otro de los principales beneficios que presenta el biocarbón es la función de intercambiar cationes del suelo, al retener iones importantes como:  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{CA}_2^+$  y  $\text{Mg}_2^+$  debido a las cargas superficiales negativas del biochar (Escalante et al., 2016).

### **2.3.8 Pruebas de toxicidad**

La intención de realizar pruebas de toxicidad es para obtener conocimiento, que sirva de apoyo a los profesionales sobre los niveles de toxicidad que puede contener la elaboración de un producto como por ejemplo el biocarbón, en el que le permite decidir y tomar en cuenta el riesgo que se puede generar por estas actividades antropogénicas (Trujillo, 2017).

Los bioensayos toxicológicos sirven como una herramienta importante para valorar el potencial de toxicidad de alguna sustancia o producto que sea sujeto de investigación, la evaluación de la toxicidad de los componentes y de los contaminantes orgánicos son una necesidad básica para el estudio de nuevas sustancias (Flesch et al., 2019).

Realizar pruebas de toxicidad para la inspección de los posibles contaminantes que puede tener un producto es necesario por la capacidad que tienen para evaluar el comportamiento de los organismos que se encuentran presentes en el lugar de aplicación, permitiendo obtener datos sobre dosis-reacción, de tal manera que se puede valorar los efectos fitotóxicos de algún compuesto, mediante: la elongación de la radícula, germinación de la semilla, desarrollo de la planta en la etapa inicial de crecimiento (Trujillo, 2017).

## **2.4 Elaboración del biocarbón**

Guerra (2015), enlista tres métodos principales para la conversión de la biomasa residual a otro tipo de producto: el primer método es la transformación bioquímica mediante efectos microbiológicos como es la digestión anaerobia para la elaboración de metano y la fermentación alcohólica para la elaboración de etanol, el segundo método es mediante la transformación termoquímica, que por efectos térmicos se realiza el tratamiento de pirólisis para obtener biocarbón y el tercer método es mediante la transformación físico-química en el que se elabora aceites.

El biocarbón puede ser producido por diferentes procesos, pero principalmente se debe tomar en cuenta el tipo de tratamiento a elegir, ya que si se elabora de la misma forma que el carbón vegetal tradicional, esta manera de fabricación no es la adecuada debido a que no se puede controlar ciertas emisiones que surgen en el proceso de producción, lo que conlleva a la contaminación del entorno (Balladares, 2020). Por lo tanto, es indispensable utilizar métodos amigables con el medio ambiente, hoy en día existen una pluralidad de métodos sofisticados para producir biocarbón, incluyendo los tipos de hornos, por otro lado los sistemas avanzados hacen que el control del proceso

sea exacto y las propiedades fisicoquímicas del biocarbón resultante pueden ser controladas a través de los sistemas de selección de la biomasa residual (Amoah, 2019).

Para la elaboración del biocarbón, existen varios procesos para su obtención, pero esencialmente se debe analizar las tecnologías termoquímicas a usar para convertir la materia prima en un producto reutilizable, sin embargo, entre los métodos más utilizados para la elaboración de biocarbón se tiene el tratamiento termoquímico de la pirólisis (Cuenca, 2019).

#### **2.4.1 Pirólisis**

Pirólisis es una palabra de origen griego “*pyro*”, fuego y “*lisis*”, descomposición, por lo que su significado sería, que es un proceso de descomposición térmica en carencia de oxígeno de algún producto de biomasa que al ser transformado por este proceso puede obtenerse tres recursos de aprovechamiento como: bioaceites, biogás, y biocarbón, lo que ha hecho que la pirólisis se convierta en un tema de interés (Trujillo, 2017).

Maienza et al. (2016), puntualiza a la pirólisis como un proceso energético que conduce a la degradación termoquímica de la materia orgánica en condiciones de escasez de un agente oxidante, el resultado de este tratamiento no solamente es de un material carbonizado, sino también se puede obtener otros productos como: líquidos negros viscosos llamados alquitrán o bioaceites y una mezcla de gases, no obstante, estos productos dependen de; la composición, estructura, características físico-químicas, proceso de producción, tecnología utilizada, temperatura y tiempo de elaboración.

Escalante et al. (2016), refiere al proceso de pirólisis como un tratamiento termoquímico que se utiliza para convertir residuos orgánicos con diferentes densidades energéticas a productos entre ellos se tiene: fluido con elevada densidad, transformado en bioaceite, sólidos con densidades elevadas, transformados en biocarbón como también en productos gaseosos (gas).

#### **2.4.2 Procesos de pirólisis**

La transformación de la materia orgánica a biocarbón, Trujillo (2017), debe atravesar por procesos complejos, debido a que existen una variedad de reacciones, aun así, detalla a los procesos de pirólisis de la siguiente manera: el primer proceso es la eliminación de la humedad presente en la materia prima; en el segundo proceso se elabora el biocarbón inicial, apareciendo también los compuestos orgánicos volátiles (COV), emanaciones primarias y para el tercer proceso finalmente se genera la descomposición del biocarbón inicial, convirtiéndose en un material con gran contenido de carbono, terminando la generación de gases como de material volátil.

Klug (2012), Indica que el proceso de pirólisis está conformada por tres etapas en las que menciona las siguientes: selección y recopilación de la biomasa residual, transformación de la materia y por último la extracción por separado de los diferentes recursos de utilidad (Fig. 2.),

(bioaceites, biocarbón, gas), sabiendo que hay diferentes tipos de pirólisis, con diferentes condiciones, para obtener diferentes productos.



**Fig. 2:** Productos del proceso de pirólisis

*Fuente:* Rosas (2015)

### 2.4.3 Tipos de pirólisis

Arévalo (2019), indica que existen diferentes tipos de pirólisis de acuerdo al producto final a obtener sean estos bioaceites, biogás o biocarbón, es decir que según las condiciones a las que se somete la biomasa residual mediante el proceso de pirólisis, se podría obtener un producto final diferente.

#### **a. Pirólisis lenta**

A este método se le denomina también como pirólisis convencional, y para obtener un recurso deseado es más pausado que otros procesos debido a la baja velocidad de calentamiento y alcance de la temperatura que se encuentra por debajo de los 600°C en el que el resultado a obtener es un mayor porcentaje de sólidos que líquidos y gaseosos (Cuenca, 2019).

#### **b. Pirólisis rápida**

Este proceso de pirólisis se caracteriza por su elevada tasa de calentamiento, lo que le permite alcanzar rápidamente temperaturas entre los 650°C a 800°C antes de la descomposición de la materia prima, en el cual se obtiene un recurso con mayor porcentaje líquido que sólido y gaseoso dependiendo del residuo que se use (Balladares, 2020).

#### **c. Pirólisis ultrarrápida**

Este método de pirólisis se identifica por realizar su proceso de transformación a temperaturas moderadas que oscilan entre 400°C y 600°C pero la velocidad de calentamiento es alta por lo general es mayor a 2°C s<sup>-1</sup> y del resultado a obtener es en un mayor porcentaje sólido que líquido y gaseoso (Escalante et al., 2016).

#### **d. Gasificación**

Este tipo de proceso provoca la oxidación de materia prima parcialmente, sea con aire, vapor de agua u oxígeno en el que se encuentran a elevadas temperaturas que van desde los 800°C a 900°C dando como resultado un gas inflamable que puede ser utilizado para la combustión en algunos motores (Trujillo, 2017).

Otras Investigaciones, presentan también tipos de pirólisis, pero con una diferencia en las condiciones que se realiza el proceso, sin embargo, conlleva a obtener los mismos productos (biocarbón, bioaceites, gas) de acuerdo al tipo al que se someta (Rosas, 2015 ; Arévalo, 2019). En la Tabla 3 se indica los tipos de pirólisis con sus condiciones y fracciones.

**Tabla 3:** Tipos de pirólisis, escenarios y fracciones en porcentaje de los recursos

| <b>Tipos de pirólisis</b> | <b>Escenarios de calentamiento</b>   | <b>Bioaceite (%)</b> | <b>Biocarbón (%)</b> | <b>Gases (%)</b> |
|---------------------------|--|----------------------|----------------------|------------------|
| <b>Lenta</b>              | Temperatura de 400°C. Reducida tasa de calentamiento. Tiempos de permanencia del gas: 5 - 30 minutos | 30                   | 35                   | 35               |
| <b>Moderada</b>           | Temperatura moderada 500°C. tasa de calentamiento media. Tiempo de permanencia del gas: 10 - 20s     | 50                   | 20                   | 30               |
| <b>Rápida</b>             | Temperatura moderada 500°C. Alta tasa de calentamiento. Tiempo de permanencia del gas: 1s.           | 75                   | 12                   | 13               |
| <b>Gasificación</b>       | Temperatura mayor a los 750°C. Tiempo de permanencia del gas: 10 - 20s                               | 5                    | 10                   | 85               |

Fuente: (Rosas, 2015 ; Arévalo, 2019).

#### **2.4.4 Reactor de la pirólisis**

El reactor de pirólisis es el horno como tal, pero a diferencia de las técnicas artesanales este tiene una capacidad óptima de aprovechamiento de la materia prima en su transformación, en el que se obtiene productos con elevados contenidos de carbono fijo y baja generación de impactos ambientales (Siguencia, 2021). El mecanismo se enfoca en el caldeoamiento de la biomasa residual dentro del reactor en un espacio denominado recámara interna, generalmente su estructura es de forma cilíndrica hecho con material metálico, teniendo como función principal la transmisión de altas temperaturas por parte de un elemento en la cámara externa; a lo largo de la transformación de la biomasa residual a biocarbón, este no debe tener contacto directo con el fuego ni otro agente externo, lo cual da origen al tratamiento termoquímico llamado pirólisis (Bermeo & Córdova, 2014).

## 2.5 Col (*Brasica oleracea*)

### 2.5.1 Origen

La col o repollo nombre popular es una hortaliza perteneciente de la familia de Crucífera, de hecho la más importante de esta, su origen se remonta al occidente en la tribu europea, las *Brassicás* son hortalizas con alta demanda en la población mundial por los carbohidratos y vitaminas que contiene, esta hortaliza también es reconocida por su aporte al sistema digestivo ya que ayuda al mismo, es una planta bianual cuya forma es como cogollos de hojas entrelazadas unas a otras (Tapia, 2014).

La col conocida también como repollo o berza, su raíz originaria se encuentra en Europa Central y Mediterránea, aunque hasta la actualidad se desarrolla como un sustento de producción alimenticio y económico en una gran parte del mundo, su especie posee una gran variedad entre sí pero la que más se cultiva en el momento es la denominada col silvestre (EcuRed, 2019).

### 2.5.2 Características

EcuRed (2019), la col es una planta verduzca, con un alto contenido de vitaminas y minerales. Su tonalidad es variada en el que se puede ver un color que va de un verde claro hasta un verde oscuro, y en otras partes de su estructura con un color blanquecino. El diámetro de la verdura oscila entre 20 a 25 cm y su masa se encuentra desde 1,5 Kg a 2,5 Kg.

### 2.5.3 Taxonomía

La taxonomía de la col se detalla en la Tabla 4

**Tabla 4:** Taxonomía de la col

|           |                 |
|-----------|-----------------|
| Reino:    | Plantae         |
| Subreino: | Tracheobionta   |
| División: | Magnoliophyta   |
| Clase:    | Magnoliopsida   |
| Subclase: | Dilleniidae     |
| Orden:    | Brassicales     |
| Familia:  | Brassicaceae    |
| Genero:   | <i>Brassica</i> |
| Especie:  | <i>oleracea</i> |

**Fuente:** Cangas (2019).

#### **2.5.4 Fisiología de la col**

La col cuenta con un abundante sistema fibroso de raíces pivotantes cuyo sistema es muy ramificado alcanzando gran crecimiento lateral y profundo en el suelo, aquí se encuentra la mayor cantidad de raicillas con sus excelentes capacidades absorbentes (Bailón, 2009). Para el tallo al principio contamos con un desarrollo minúsculo en su tamaño, sin ramificaciones, si a este no se le ha retirado la dominancia apical que corresponde, más tarde se da la formación de la parte comestible, posterior a la etapa de vernalización el tallo tiende a obtener tamaños de 12 a 15 cm mientras que las hojas tienden a ser sésiles o con pecíolo con medidas de (60 cm de diámetro, 35 cm de largo) su morfología es casi ovalada con referencia de otras hortalizas (Pazmiño, 2012).

#### **2.5.5 Sistema de cultivo**

La col se la puede sembrar de modo directo como indirecto para lo cual es recomendable distancias de 0,4 m entre semillas y 0,7 m en hileras, luego del enraizamiento y respectiva plantación se puede optar por actividades superficiales tales como la limpieza de malas hierbas, cuidado y control de plagas (Pazmiño, 2012).

Tapia (2014), alude que se debe tomar en cuenta diferentes factores para la siembra, entre los más importantes tenemos: el suelo, la temperatura y agua; el suelo debe ser rico en materia orgánica, se debe procurar la siembra en suelos planos con buen drenaje; la temperatura para la cultivación de la col es variante pues en climas cálidos se podría decir que se adaptan y en climas fríos crecen con mayor eficacia incluso resistiendo heladas y para el caso del agua, la col requiere constantemente de la presencia de humedad puesto que es sensible a la sequía.

Para su cultivo se debe realizar una preparación minuciosa de la tierra con una contextura granulométricamente apta para el cultivo debido a que los tamaños de las semillas son pequeñas, el espacio en el que se desarrollan no debe tener desnivel alguno ni posibilidad de encharcamientos, para obtener una buena cosecha los suelos deben estar bajo las siguientes condiciones: humedad considerable, compactación adecuada y alcalinidad (EcuRed, 2019). La col se le puede cultivar en diferentes tiempos del año, se le puede hacer en un semillero (almácigo) para luego ser trasplantadas, para mejorar el terreno donde se vaya a realizar la siembra, es recomendable añadir cierta cantidad de turba para que ayude a regenerar su estructura (Bailón, 2009).

## CAPITULO III:

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Zona de estudio

La investigación se desarrolló en la Unidad Académica de Posgrados de la Universidad Católica de Cuenca; se localiza en la jurisdicción de la provincia del Azuay, cantón Cuenca, parroquia Hermano Miguel, sector Uncovía, vía a Patamarca. En la Figura 3 se presenta el lugar mencionado.

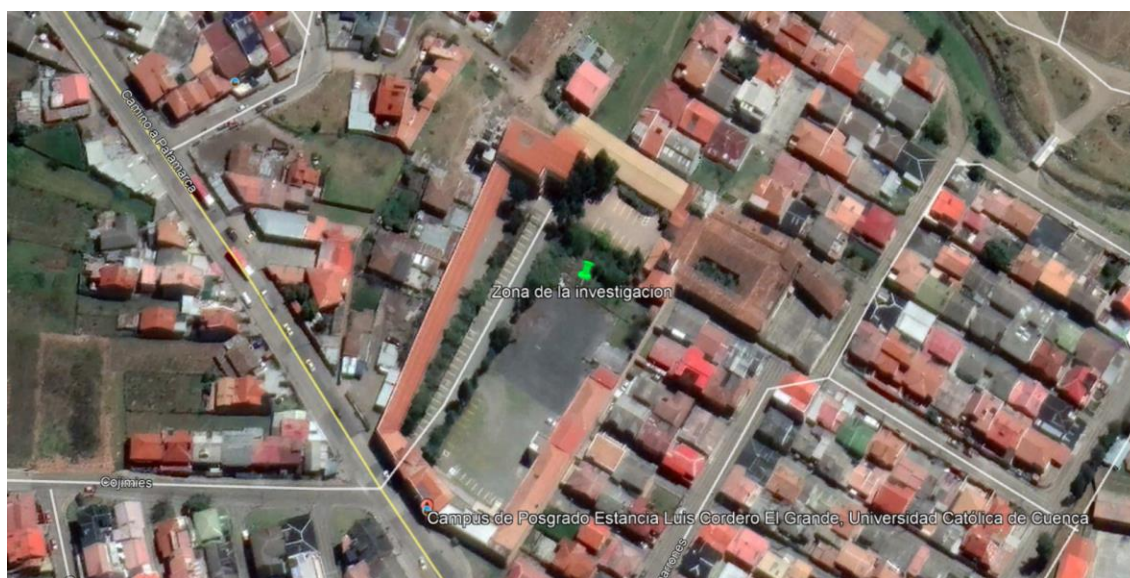
Ubicación:

Coordenada este: 724403.00 m E

Coordenada norte: 9682557.00 m S

Zona: 17

Altitud: 2512 ms.n.m.



**Fig. 3:** Lugar donde se desarrolló la investigación “Unidad Académica de Posgrados”

**Fuente:** Google Earth 2021

## 3.2 Población y muestra

**Población:** Residuos orgánicos; (biomasa) huesos avícolas y huesos porcinos.

**Muestra:** 10 kilogramos de cada residuo orgánico para elaborar el biocarbón.

## 3.3 Metodología

### 3.3.1 Desarrollo de la investigación

Para cumplir los objetivos planteados del presente estudio se basó en un diseño de investigación de clase cuantitativa de tipo experimental en el que permite observar el efecto causado entre variables dependientes e independientes.

### 3.3.2 Selección y recolección de la biomasa

Se seleccionó dos tipos de residuos de los animales los cuales fueron huesos de pollo y huesos de cerdo (Fig. 4). Se recogió muestras de 10 kilogramos de cada residuo, estas muestras se obtuvieron manualmente en fundas plásticas, desde las zonas de elaboración de productos cárnicos. El lugar de donde se obtuvo tales residuos fue de la fábrica “La Italiana” industria dedicada a la elaboración de embutidos, que se localiza en el parque de industrias al norte de la ciudad de Cuenca.



**Fig. 4:** *Materia prima recolectada*

#### a) Acondicionamiento de la materia prima

Los huesos extraídos de los procesos de elaboración de embutidos adicionalmente contienen pequeños restos cárnicos, por tanto, estos restos fueron desprendidos de los huesos con instrumentos de corte (cuchillos), y lavados, para liberarlos de sustancias que no forman parte de los mismos.

Posteriormente estos residuos al estar frescos, fueron secados durante 4 días, a temperatura ambiente (Fig. 5, Fig. 6) y protegidos de la lluvia para disminuir el contenido de la humedad, para que en el momento de ser colocados en el horno reactor no exista una alta necesidad energética para su proceso (Guerra, 2015).



**Fig. 5:** Huesos porcinos



**Fig. 6:** Huesos avícolas

Este tipo de biomasa al tener una estructura dura y un tamaño considerable, no podían ser sometidos directamente al horno reactor, entonces; fueron triturados (Fig. 7) para obtener tamaños granulométricamente homogéneos (Fig. 8) con el propósito de que todos los residuos se conviertan en biocarbón con mayor eficacia en el proceso de la descomposición térmica (pirólisis) (Gordillo, 2018).



**Fig. 7:** Trituración manual de huesos



**Fig. 8:** Huesos triturados

## **b) Registro de pesos de la biomasa**

Después de acondicionar la materia prima, esta registró un nuevo peso, es por ello que es necesario el registro del peso de la biomasa que ingresó al horno reactor. Para la recolección de la información de pesaje de la biomasa se usó una balanza digital (CAMRY Modelo: EB9390), en el que cada tipo de materia prima fue separada en dos partes (muestras) para su posterior ingreso al horno; las muestras de los huesos avícolas y porcinos registraron una masa de 1.5 kilogramos cada una.

### 3.3.3 Elaboración y caracterización del biocarbón

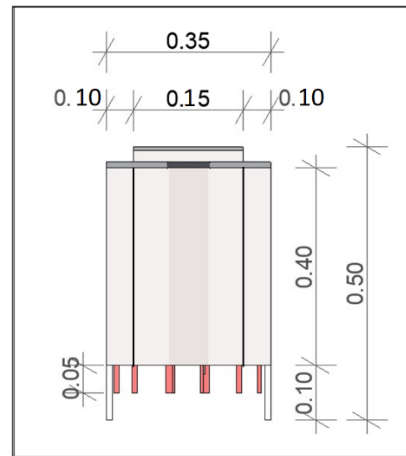
#### a) Horno reactor

Para la elaboración del biocarbón se usó un horno reactor eléctrico (Fig. 9), de tipo caldera ya que, según estudios estos equipos son los adecuados para realizar pruebas de pirólisis, el horno que se utilizó consta de una cámara externa, una cámara interna ambas de forma cilíndrica, 3 niquelinas eléctricas entre las cámaras, un termómetro digital de temperatura y un alimentador de energía de 220 V. Fue diseñado bajo las normativas ASME (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos), este diseño soporta 40 Psi, una temperatura de 450 °C, las dimensiones del horno reactor (fig. 10), conforman de la siguiente manera; diámetro de la cámara externa de 350mm, diámetro de la cámara interna de 150mm, altura de las dos cámaras de 400mm, espesor del material de los cilindros de 3mm, (Siguencia, 2021). El diseño del reactor se muestra en el Anexo 1



**Fig. 9:** Horno reactor

**Fuente:** (Siguencia, 2021)



**Fig. 10:** Dimensiones del horno reactor

**Fuente:** (Siguencia, 2021)

#### b) Producción de biocarbón

La producción del biocarbón fue basado en Trujillo et al., (2019), donde indica el procedimiento a seguir para la elaboración de biochar, de tal manera que para la fabricación del biocarbón a partir de huesos porcinos y avícolas, se tomó su instructivo en el que se repitió el mismo procedimiento para cada muestra.

En el que consta el siguiente proceso:

Se llenó los residuos en la cámara interna del horno reactor (Fig. 11) en cantidades específicas, se cerró la cámara para limitar el ingreso de oxígeno para que se produzca el denominado proceso de pirólisis, posteriormente se inició con la provisión de calor térmica verificando que las 3 niquelinas eléctricas estén en funcionamiento, finalmente se cerró la tapa de la

cámara externa del reactor dejando un rango de tiempo entre 2,5 a 3 horas operacionales del horno reactor a una temperatura de 350 °C.

Terminado el tiempo de provisión de calor térmico se dejó enfriar el reactor durante 20 minutos para recolectar las muestras de biomasa transformadas en biocarbón (Fig. 12).



**Fig. 11:** Residuos en la cámara interna del horno



**Fig. 12:** Biomasa transformada en biocarbón

### c) Pruebas de pirólisis

Las pruebas de pirólisis fueron apoyadas en Escalante et al., (2016). Se efectuó la pirólisis lenta, llamada también convencional, por lo que se configuró el tiempo y temperatura del horno reactor (Fig. 13), donde la tasa de calentamiento fue paulatina hasta alcanzar una temperatura inferior a los 400 °C y el tiempo de residencia de los residuos fueron acorde a la configuración.



**Fig. 13:** Configuración de tiempo y temperatura del horno para el proceso de pirólisis

Se realizó 4 pruebas de pirólisis dos de cada residuo, mismas que se detallan de la siguiente manera: se inició con la transformación de los huesos avícolas colocando la muestra de 1,5 Kg en la cámara interna, para la conversión de este residuo a biocarbón, se colocó a 3 horas y a una

temperatura de 350 °C, la prueba número 2 del mismo residuo, fue colocado al horno reactor con las mismas condiciones para su transformación.

Para realizar la prueba número 3 los huesos porcinos se introdujeron a la cámara interna del horno reactor para su conversión a biocarbón; para esta materia prima se colocó la muestra aumentando su peso a 3 Kg, durante un el mismo periodo de tiempo de 3 horas a una temperatura de 350 °C y para la última y cuarta prueba, se colocó de la misma manera a los residuos, en escenarios semejantes.

#### **d) Registro de verificación y rendimiento del biocarbón**

Según Trujillo et al., (2019), para cada tipo de biocarbón elaborado, se estimó el rendimiento de producción del mismo y para el registro de verificación se recolectó información de la masa de ingreso del residuo, así como la masa de salida o resultante luego de atravesar el proceso de pirólisis. Para determinar el rendimiento alcanzado por los biocarbones porcino y avícola se usó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Masa del biochar}}{\text{Masa de la biomasa}} * 100 \quad (1)$$

#### **e) Preparación del biocarbón previo análisis**

Las muestras de cada tipo de biocarbón fueron recolectadas, trituradas manualmente hasta obtener una granulometría uniformemente pequeña (Fig. 14) y empacadas en fundas ziploc en porciones de 500 gramos (Fig. 15), posteriormente fueron enviadas a los laboratorios BIONIKA ubicado en la ciudad de Quito, en donde se obtuvieron los respectivos análisis de la composición del biocarbón, según sus metodologías aplicadas.



**Fig. 14:** Trituración de biocarbón



**Fig. 15:** Biocarbón empacado

## f) Interpretación de las características

La caracterización de las propiedades del biocarbón de residuos avícolas como de los residuos porcinos se obtuvieron del análisis físico-químico realizado por el laboratorio, en el que de acuerdo a Trujillo et al., (2019), se determina las características de su morfología y estructura de acuerdo a la materia prima transformada a biocarbón, en la Tabla 5 se especifica la metodología aplicada para el respectivo análisis de las características fisicoquímicas que contienen cada biocarbón.

**Tabla 5:** Metodología aplicada para determinar las características físico-químicas del biocarbón

| <b>Contenidos fisicoquímicos</b> | <b>Unidad</b> | <b>Metodología</b>                           |
|----------------------------------|---------------|--|
| <b>pH</b>                        | -             | AOAC 973,04 Cap. 2 Ed 19 Pág. 19. 53-54 2012 |
| <b>Conductividad Eléctrica</b>   | μS cm-1       | NTC 5596                                     |
| <b>Densidad Aparente</b>         | g ml-1        | NTC 1974:2003                                |
| <b>Densidad Real</b>             | g ml-1        | Picnómetro                                   |
| <b>Materia Orgánica</b>          | %             | NTC 5403                                     |
| <b>Carbono Orgánico Total</b>    | %             | Walkley-black (NCT5167)                      |
| <b>Oxígeno</b>                   | %             | SO 200 Apogee Instruments                    |
| <b>N Total</b>                   | %             | AOAC 955,04 Cap. 2 Ed 19 Pág. 19. 13-14 2012 |
| <b>C/N</b>                       | -             | Walkley-black (NCT5167)                      |
| <b>P</b>                         | ppm           | AOAC 958,01 Cap. 2 Ed 19 Pág. 19. 5-6 2012   |
| <b>K</b>                         | ppm           | AOAC 983,02 Cap. 2 Ed 19 Pág. 19. 24-27 2012 |
| <b>Mg</b>                        | %             | AOAC 965,09 Cap. 2 Ed 19 Pág. 29. 29-31 2012 |
| <b>Na</b>                        | %             | AOAC 965,09 Cap. 2 Ed 19 Pág. 19. 29-31 2012 |
| <b>Ca</b>                        | %             | AOAC 965,09 Cap. 2 Ed 19 Pág. 29. 29-31 2012 |
| <b>Cenizas</b>                   | %             | AOAC 967,04 Cap. 2 Ed 19 Pág. 19. 54 2012    |
| <b>Materia Volátil</b>           | %             | Norma Astm D-3173                            |
| <b>Humedad</b>                   | %             | NTP 311,012 1970                             |

Fuente: (Trujillo et al., 2019)

### 3.3.4 Diseño experimental para la evaluación del efecto del biocarbón

#### a) Aplicación del biocarbón al suelo

Para la preparación del suelo mediante la aplicación de biocarbón, se empleó diferentes dosificaciones de este recurso al sustrato (producto denominado turba), y de acuerdo al estudio realizado por Gómez et al., (2016), se aplicó las siguientes dosis para cada tratamiento de acuerdo a la cantidad de sustrato utilizado que se individualizan en la Tabla 6.

**Tabla 6:** Dosis de aplicación de biocarbón al suelo por tratamiento

| Tratamientos |         | Dosis porcentaje (%) | Peso del sustrato (gr) |
|--------------|---------|----------------------|------------------------|
| Nro.         | Código  |                      |                        |
| T1           | B1D1    | 2%                   | 50                     |
| T2           | B1D2    | 5%                   | 50                     |
| T3           | B1D3    | 7%                   | 50                     |
| T4           | B2D1    | 2%                   | 50                     |
| T5           | B2D2    | 5%                   | 50                     |
| T6           | B2D3    | 7%                   | 50                     |
| T7           | Testigo | 0%                   | 50                     |

**Nota:** Los códigos representan la siguiente denominación: biocarbón porcino (B1), biocarbón avícola (B2) con sus respectivas dosis (D1, D2, D3).

Antes de preparar el suelo con cada uno de los biocarbones, estos atravesaron por un proceso de separación de partículas finas de aquellas partículas gruesas, para esta actividad se utilizó una malla (Fig. 16) que realice la función de cernir tales partículas.

Posteriormente se suministró 50 gramos de sustrato (turba), más según su porcentaje, una cierta cantidad (gramos) de biocarbón para cada envase en el que se realizó la siembra. Sin embargo, como fueron 4 envases por cada uno de los tratamientos, en total se utilizó 200 gramos de sustrato con la cantidad de biocarbón (Fig. 17) acorde a su porcentaje total, donde se desarrolló una mezcla con una cierta cantidad de agua, hasta alcanzar una contextura homogénea de tal compuesto.



**Fig. 16:** Malla para separar partículas de biocarbón



**Fig. 17:** Adición del biocarbón al sustrato

La preparación del suelo con el biocarbón fue realizada de acuerdo a su dosificación de la siguiente manera:

Para la dosis del 2 % (D1), se utilizó un total de 200 gramos de suelo, en el que se le adiciono 4 gramos de biocarbón correspondiente a su porcentaje.

Para la dosis del 5 % (D2), se empleó 10 gramos de biocarbón según el porcentaje de 200 gramos de suelo suministrado.

Para la dosis del 7 % (D3), se adiciono a un total de 200 gramos de suelo, la cantidad de 14 gramos de biocarbón de acuerdo a su porcentaje.

Para la dosis del 0 % (Testigo), simplemente se suministró de 200 gramos de suelo (turba).

Este procedimiento fue aplicado para el biocarbón porcino (B1) y avícola (B2)

### b) Diseño

Briones (2017), se aplicó el tipo de diseño de bloque completo al azar (BCA) para el diseño experimental y se trazó con la siguiente expresión factorial  $(2 \times 3 + 1) \times 4$ , conformado por: 2 tipos de biocarbón, en el que cada uno tuvo 3 tratamientos con sus respectivas dosis, más 1 tratamiento testigo, cada tratamiento consta de 4 repeticiones dando un total de 28 unidades experimentales, en la figura 18 se muestra el esquema experimental para esta investigación.



**Fig. 18:** Esquema experimental de la siembra de las plantas de col

### 3.3.5 Siembra de semillas de col

#### a) Siembra

Un total de 28 semillas de col (unidades experimentales) fueron sembradas, colocadas una por cada uno de los recipientes aplicados con diferentes tratamientos, para ello de acuerdo a Suárez, (2013) se humedeció el suelo con abundante agua para obtener un resultado positivo de germinación de la plántula, se enterró las semillas a 1 cm de hondo de la superficie del sustrato de cada envase (Fig. 19), posteriormente se le agregó una cantidad mínima de agua, según recomendaciones de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura).



*Fig. 19: Siembra de semillas*

#### b) Aplicación de riego

Bailón (2009), la col debe tener un sistema de riego desde que se siembra hasta su cosecha para su buen desarrollo, ya que en el caso de sufrir alguna sequía, esta puede impedir el crecimiento de la planta, por tanto menciona que el suelo debe estar alrededor de un 80% húmedo para el crecimiento de la col, el sistema de riego en este estudio se realizó manualmente con la ayuda de una regadera (Fig. 20), desde el inicio de la siembra, el periodo de tiempo para el suministro de agua fue pasando un día, durante 36 días de desarrollo de las plantas de col.



*Fig. 20: Aspersión de agua en las plantas de col*

### 3.3.6 Verificación de la incidencia del biocarbón en las partes de las plantas de col

Para verificar la incidencia que posee los biocarbones porcinos y avícolas en el desarrollo de las plántulas de col, de acuerdo al estudio de Trujillo et al., (2019), donde reveló datos de medición del crecimiento de la plantas de rabanito. Se procedió a recopilar la información de longitud y peso de la raíz y la parte aérea de la plántula, así como también se realizó un conteo del número de hojas alcanzado según el tipo de tratamiento aplicado, para posteriormente ser evaluados y determinar el efecto causado por el biocarbón aplicado al suelo.

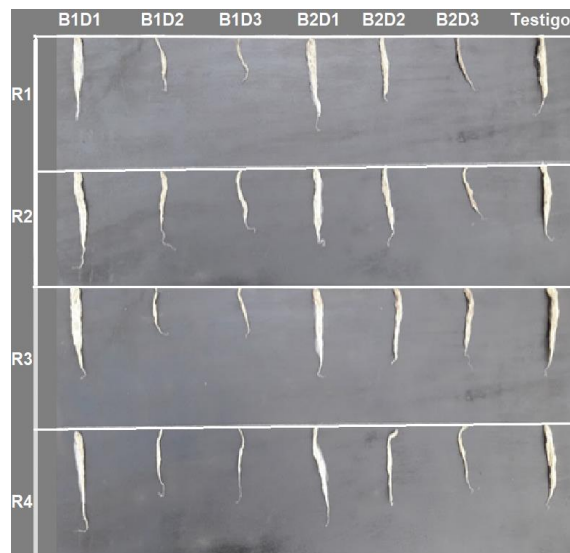
### 3.3.7 Evaluación de las partes de la col

#### a) Extracción y lavado de raíces de col

La extracción de las raíces de la planta de col se ejecutó 36 días posteriores a su siembra y en base a Lugo et al. (2009), para lavar el sistema radicular, se agregó agua en gran cantidad a cada envase para remojar y en suavizar la raíz del suelo (Fig. 21), posterior a ello se lavó las raíces manualmente con delicadeza para no ser arrancadas, finalmente se colocó en un tablero negro (Fig. 22) para obtener una mayor apreciación de su longitud.



**Fig. 21:** Remojo y lavado de raíz



**Fig. 22:** Raíces extraídas de cada plántula

## b) Medición de longitud de raíces

La toma de medidas de las raíces según Lugo et al., (2009) se puede hacer mediante la digitalización con un escáner de buena resolución para luego ser procesadas por algún software especializado en el que se puede obtener el tamaño de la raíz mediante una estimación. Sin embargo, en base a (Demuner et al., 2012), la medición de la longitud de la raíz de la col se realizó con un calibrador digital marca Truper (Fig. 23), recolectando datos de medidas milimétricas de cada repetición de acuerdo a su tratamiento.



*Fig. 23: Registro de longitud de raíz*

## c) Pesaje de raíces

Para el registro de datos del peso de la raíz se utilizó una balanza digital CAMRY modelo EK3130, donde la raíz fue separada de la planta mediante un corte y posteriormente colocada en la balanza para obtener la información de su pesaje (Fig. 24).



*Fig. 24: Registro de peso de la raíz*

#### **d) Medición de la altura de la plántula**

La toma de datos del tamaño de la plántula de col se realizó desde la base donde fue realizado el corte de separación de su raíz hasta la parte de la altura máxima alcanzada por sus hojas. En la Figura 25 se evidencia el registro de medida realizada en la plántula mediante el uso del calibrador digital marca Truper.



*Fig. 25: Registro del tamaño de la plántula*

#### **e) Pesaje de la parte aérea de la plántula**

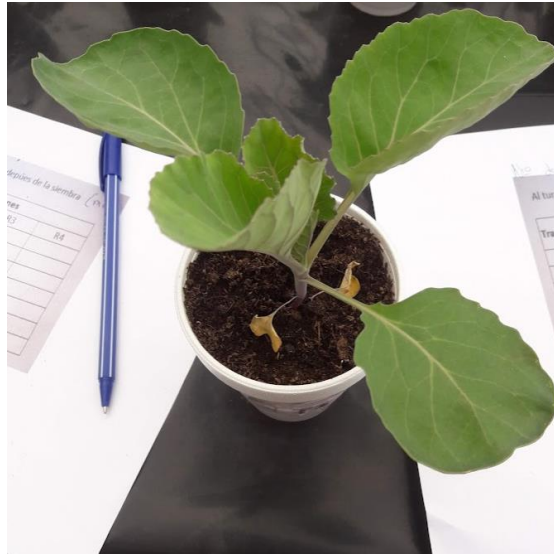
Para el registro de datos del peso de la plántula se utilizó una balanza digital CAMRY modelo EK3130, donde la plántula fue separada de la raíz mediante un corte y posteriormente colocada en la balanza para obtener la información de su pesaje en la Figura 26 se observa el registro del peso de la plántula.



*Fig. 26: Registro de peso de la plántula*

#### **f) Número de hojas**

Para el registro de información sobre el número de hojas de la plántula, se realizó un conteo de la cantidad de hojas adquiridas por cada plántula de col, durante los 36 días de su desarrollo, en la Figura 27 se visualiza la cantidad de hojas alcanzadas por la plántula.



**Fig. 27:** Número de hojas de la plántula

#### **3.4 Análisis estadístico**

El análisis respectivo de cada tipo de biocarbón aplicado en el sustrato para el desarrollo de las plantas de col, se realizó mediante el uso del software estadístico RStudio (1,3), en el que se hizo un estudio de varianzas (ANOVA) de la información recolectada de las diferentes partes de la plántula de col que se desarrolló en los diferentes tratamientos. Se realizó un análisis estadístico descriptivo, (error relativo, medias, clases), representaciones gráficas para su debido análisis comparativo.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Elaboración del biocarbón

##### 4.1.1 Pruebas de pirólisis

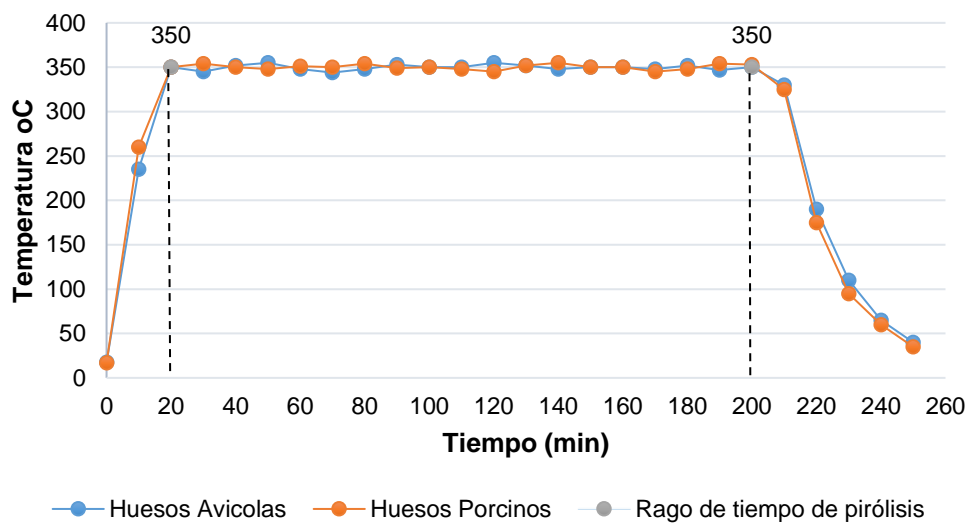
El biocarbón resultante de los dos tipos de residuos se obtuvo mediante el método de pirólisis lenta, en el que se realizó dos pruebas de pirólisis para cada uno, empleando la misma cantidad de tiempo, temperatura y masa inicial, que se detallan en la Tabla 7, mostrándose una diferencia notoria entre la masa de ingreso con respecto a la masa de salida.

**Tabla 7:** Pruebas de pirólisis empleadas para los dos tipos de residuos

| <b>Materia Prima</b> | <b>Repetición</b> | <b>Tiempo (h)</b> | <b>Temperatura °C</b> | <b>Masa inicial (Kg)</b> | <b>Masa salida (Kg)</b> |
|----------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------------|
| H. avícolas          | 1                 | 3                 | 350                   | 1,5                      | 0,8                     |
|                      | 2                 | 3                 | 350                   | 1,5                      | 0,7                     |
| H. porcinos          | 1                 | 3                 | 350                   | 3                        | 1,8                     |
|                      | 2                 | 3                 | 350                   | 3                        | 1,7                     |

##### 4.1.2 Variación de la temperatura en la elaboración del biocarbón

En el proceso de pirólisis lenta para la elaboración del biocarbón de cada residuo se registró datos de temperatura cada 10 minutos desde: el encendido del reactor, durante el proceso y al finalizar el proceso; marcando una temperatura inicial de 17 °C para los huesos avícolas y de 17 °C para los huesos porcinos, hasta alcanzar la temperatura deseada de (350 °C). Durante el tiempo de elaboración del biocarbón la variación de la temperatura se mantuvo en un rango de (345 a 355 °C) en un lapso de 3 horas, Siguencia (2021), menciona en su investigación “Diseño y construcción de un reactor eléctrico de conversión de biomasa a biochar alimentado a través de energías renovables” la temperatura que mejor resultado de conversión de biomasa a biochar tuvo, fue la de 350°C . Al finalizar el proceso se registró datos de enfriamiento del reactor hasta disminuir la temperatura a los 40 y 35 °C para los huesos avícolas y porcinos respectivamente, en la Figura 28 se muestra la variación de la temperatura empleada para el proceso de la transformación del residuo en biocarbón.



**Fig. 28.** Variación de temperatura - tiempo en el proceso de pirólisis

#### 4.1.3 Rendimiento del biocarbón

##### a) Relación

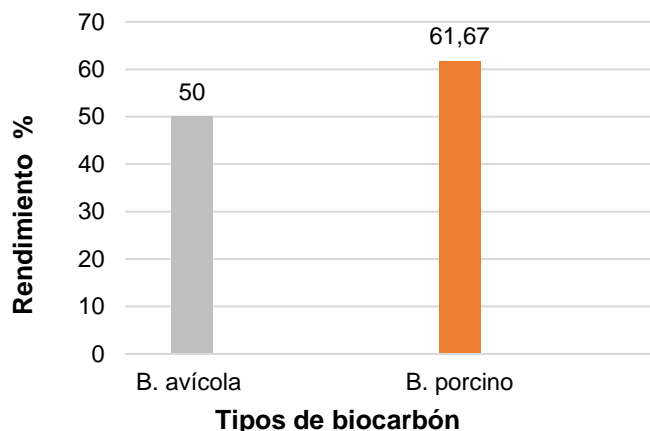
En la Tabla 8 se detalla la cantidad uniforme de ingreso de la masa inicial con su respectiva masa de salida luego de su debido proceso, en donde los datos registrados de la relación de la masa del biocarbón, entre la masa del residuo de huesos avícolas fueron de 0,533 y 0,467 de acuerdo a cada prueba de pirólisis, mientras que la relación del biocarbón de huesos porcinos fueron de 0,6 y 0,63 de cada prueba.

**Tabla 8:** Rendimiento del biocarbón obtenido durante la experimentación

| Biocarbón  | Masa inicial (Kg) | Masa salida (Kg) | Rendimiento % |
|------------|-------------------|------------------|---------------|
| B. avícola | 1,5               | 0,8              | 53,3          |
|            | 1,5               | 0,7              | 46,7          |
| B. porcino | 3                 | 1,8              | 60,0          |
|            | 3                 | 1,9              | 63,3          |

##### b) Rendimiento

El registro de rendimiento del biocarbón obtenido de cada residuo concerniente a cada prueba de pirólisis se muestra en la Tabla 8. De acuerdo a los resultados adquiridos de cada prueba de pirólisis se calculó el promedio de rendimiento de cada biocarbón que se muestra en la Figura 29, en el que se puede apreciar que el biocarbón porcino posee un mayor rendimiento con un 61,67 % a diferencia del biocarbón avícola que puntualiza un rendimiento de 50%.



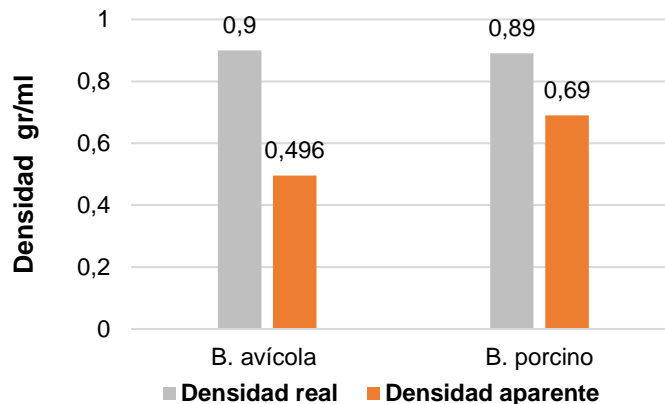
**Fig. 29:** Porcentaje de rendimiento del biocarbón avícola y porcino

De acuerdo a los resultados que se observan del rendimiento luego de atravesar los residuos por un proceso térmico, se evidencia que la masa inicial de los residuos avícolas se redujo en un 50 % mientras que la masa de los residuos porcinos se redujo en un 38,33% de su totalidad. Trujillo (2017), el rendimiento del material resultante del proceso de pirólisis son dependientes de su naturalidad, materia prima, composición y humedad, mientras que Iglesias (2018), menciona también que el rendimiento del biocarbón depende de las tecnologías que se usen para su elaboración, si la tecnología es de alta eficiencia se alcanza un mayor rendimiento.

El rendimiento del biochar elaborado por Trujillo et al. (2019), a partir de gallinaza y pollinaza fueron porcentajes de 64,31 % y 42,99 % respectivamente, mientras que el rendimiento de la mezcla de estos fue del 55,14 %, resultados muy semejantes a los del biocarbón avícola y porcino.

#### 4.1.4 Densidad real y aparente

Los datos registrados de la densidad se muestran en la Figura 30, evidenciando que la densidad real entre los dos tipos de biocarbón avícolas y porcinos son homogéneos con resultados de 0,9 gr/ml y 0,89 ml respectivamente, mientras que existe una heterogeneidad con una diferencia del 20% entre la densidad aparente de cada biocarbón que registran resultados de 0,496 gr/ml para el biocarbón avícola y 0,69 gr/ml para el biocarbón porcino.



**Fig. 30:** Densidad real y aparente del biocarbón avícola y porcino

Rubio (2010), el crecimiento de las plantas es afectado por la densidad aparente por el efecto que poseen la porosidad y resistencia del suelo en las raíces, una densidad aparente baja se encuentra en suelos porosos, aireados, con una buena infiltración, permitiendo que las raíces alcancen un buen desarrollo, mientras que una densidad aparente alta mantiene características opuestas en el que limita tal desarrollo. Por tanto, como se observa en la Figura 30 la densidad aparente de cada biocarbón ayudaría a mejorar suelos compactados.

Estudios de Trujillo et al. (2019), presentan valores similares en el biocarbón elaborado a partir de residuos de pollinaza ( $0,34 \text{ gr/cm}^3$ ) y gallinaza ( $0,56 \text{ gr/cm}^3$ ), en el que alude que tales resultados se encuentran en límites recomendables para reducir volúmenes originales de los residuos, siendo una alternativa óptima de gestión y manejo.

Escalante et al. (2016), por otro lado menciona que para el caso de los biocarbones elaborados a partir de diferentes tipos de madera, la densidad aparente que presentan son bajas y que se encuentran en intervalos que van desde  $0,3$  a  $0,43 \text{ gr/cm}^3$ .

## 4.2 Caracterización del biocarbón

### 4.2.1 Análisis físico-químico

En la Tabla 9 se expresan los resultados de varios parámetros obtenidos mediante el análisis físico químico realizado por el laboratorio Bionika (Anexo 2), en el que se detallan datos de la composición de los huesos avícolas y porcinos luego de ser transformados a biocarbón.

**Tabla 9:** Caracterización físico-química del biocarbón avícola y porcino

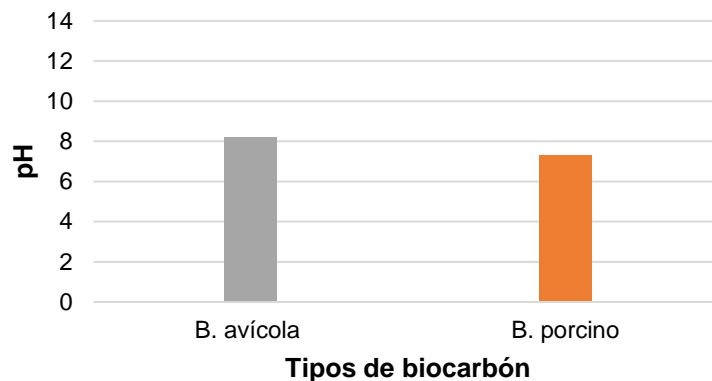
| <b>Contenidos fisicoquímicos</b> | <b>Unidad</b> | <b>Biocarbón porcino</b> | <b>Biocarbón avícola</b> |
|----------------------------------|---------------|--------------------------|--------------------------|
| <b>pH</b>                        | -             | 7,3                      | 8,2                      |
| <b>Conductividad Eléctrica</b>   | μS cm-1       | 1,7                      | 1,1                      |
| <b>Densidad Aparente</b>         | g ml-1        | 0,69                     | 0,496                    |
| <b>Densidad Real</b>             | g ml-1        | 0,89                     | 0,9                      |
| <b>Materia Orgánica</b>          | %             | 89,7                     | 91,5                     |
| <b>Carbono Orgánico Total</b>    | %             | 80,9                     | 78,9                     |
| <b>N Total</b>                   | %             | 3,2                      | 2,9                      |
| <b>C/N</b>                       | -             | 27,2                     | 21,2                     |
| <b>P</b>                         | ppm           | 92,4                     | 85,8                     |
| <b>K</b>                         | ppm           | 1260,3                   | 2188,6                   |
| <b>Mg</b>                        | %             | 1,9                      | 1,1                      |
| <b>Na</b>                        | %             | 0,82                     | 0,72                     |
| <b>Ca</b>                        | %             | 15,9                     | 8,8                      |
| <b>Cenizas</b>                   | %             | 18,5                     | 15,7                     |
| <b>Materia Volátil</b>           | %             | 1,7                      | 2,2                      |
| <b>Humedad</b>                   | %             | 1,8                      | 1,4                      |

**Fuente:** Laboratorios Bionika

Como se visualiza en la Tabla 9, encontramos que el biocarbón porcino y avícola posee una variedad de características, por tanto, en el espacio subsiguiente se detalla la interpretación de los resultados de cada uno de los componentes que se determinaron en el análisis del respectivo biocarbón.

#### **a) Potencial de Hidrógeno (pH)**

En la Figura 31 se observa la diferencia de los valores encontrados de potencial de hidrógeno de cada biocarbón, en el que el registro de datos para el biocarbón avícola alcanza una puntuación mayor (8,2), demostrándose que mantiene una tendencia mediana alcalina, mientras que el biocarbón porcino con valor de (7,3) se puede decir que este posee una tendencia baja alcalina.



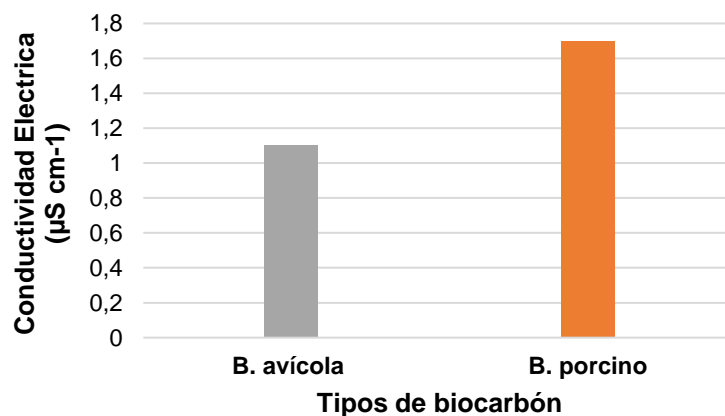
**Fig. 31:** Potencial de hidrogeno en biocarbón avícola y porcino

Iglesias (2018), menciona que al obtener en el biocarbón valores altos de potencial de hidrogeno, estos servirían favorablemente para compensar suelos ácidos. Y Trujillo (2017), alude que para alcanzar valores alcalinos depende del aumento térmico en los procesos de pirólisis, pero por otro lado señala que el resultado de pH es dependiente del tipo y composición del residuo utilizado.

El biocarbón de huesos expone resultados idénticos al biochar elaborado de biomasa de urapán, acacia y eucalipto, debido a que Arévalo (2019), revela valores alcanzados de potencial de hidrogeno de 7 a 7,5 y considera que estos registros se encuentran dentro de un rango alto de pH.

### b) Conductividad eléctrica

De acuerdo a los datos registrados de conductividad eléctrica, se encuentra que existe una diferencia según el residuo utilizado y se evidencia claramente (Fig. 32) que el biocarbón porcino posee mayor valor con ( $1,7 \mu\text{S cm}^{-1}$ ), mientras que el biocarbón avícola presenta valores de ( $1,1 \mu\text{S cm}^{-1}$ ).



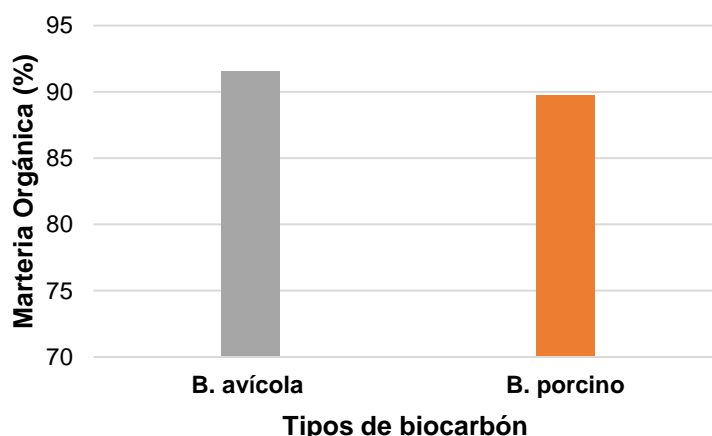
**Fig. 32:** Conductividad eléctrica del biocarbón avícola y porcino

Obregón (2019), menciona que este parámetro es el que determina el contenido de salinidad y que existe un rango de medición, de tal forma que comparando los resultados obtenidos de los dos biocarbones, se demuestra que estos se encuentran dentro del rango permisible para uso en suelos normales, incluso pueden ser de utilidad al aplicar en suelos con valores altos de conductividad eléctrica.

Arévalo (2019), en la producción de biocarbón de eucalipto encontró resultados de conductividad eléctrica de  $1,5 \mu\text{S cm}^{-1}$  seguidos por la C.E. del biochar de acacia y urapán con el 1,3 y  $1,2 \mu\text{S cm}^{-1}$  y señala que estos valores se encuentran dentro de un rango no salino.

### c) Materia orgánica

En la Figura 33 se visualiza el contenido en porcentaje de la materia orgánica existente en el biocarbón avícola y porcino, 91,5% y 89,7 % respectivamente, mostrándose una mínima diferencia entre sí. El nivel de materia orgánica que se encuentre en cualquier tipo de biocarbón siempre dependerá de la biomasa utilizada para su transformación.



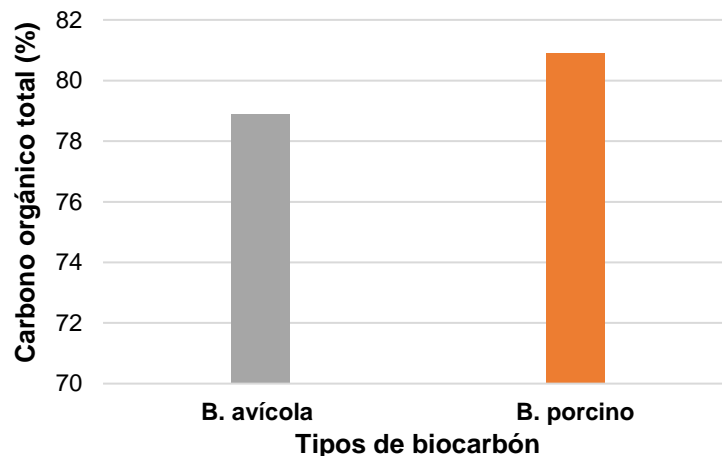
**Fig. 33:** Materia orgánica resultante del biocarbón avícola y porcino

Tortosa (2015), menciona que la materia orgánica luego de atravesar por un proceso de pirólisis se carboniza produciendo una organización de átomos de carbono, con el propósito de obtener un producto que al ser aplicados en el suelo, mejora sus propiedades.

Moreno (2017), en temperaturas de  $400^{\circ}\text{C}$  a  $600^{\circ}\text{C}$ , registró valores de 86,4% y 85,4 % respectivamente del contenido de materia orgánica de biochar derivado de sarmiento de viña (*Vitis vinifera*), mostrando similitud con los valores obtenidos por el biocarbón avícola y porcino, mientras que el biocarbón de biomasa de eucalipto elaborado por (Iglesias, 2018) presenta valores inferiores que oscilan entre 7 y 25 % de acuerdo al tipo de pirólisis que utilizó para la producción.

#### d) Carbono orgánico total

El registro de datos en porcentaje de carbono orgánico se observa en la Figura 34, encontrándose en el biocarbón avícola y porcino cantidades de 78,9 y 80,9 % respectivamente, en el que se muestra que los biocarbones difieren con un valor mínimo del 2% de su contenido, lo que indica que los dos tipos de residuos mantienen niveles idénticos de carbono orgánico total luego de ser convertidos a biocarbón.



*Fig. 34: Carbono orgánico total del biocarbón avícola y porcino*

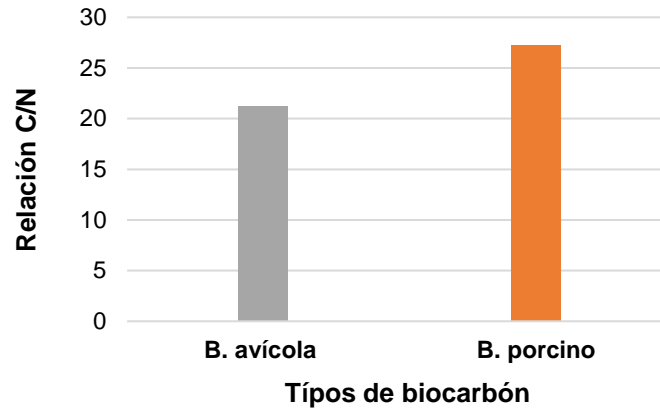
El contenido de carbono orgánico total encontrado en el biocarbón refleja cantidades elevadas, por lo que se le consideraría una propiedad importante, por la función que desarrollase al ser aplicado a los suelos. Iglesias (2018), menciona que el biocarbón posee una capacidad de conservación de carbono lo que concuerda con Trujillo (2017), en el que señala que el carbón puede permanecer estable en el biocarbón por largos periodos de tiempo.

Hussain et al. (2021), en su estudio presenta datos del contenido de carbono del biochar elaborado a partir de paja de arroz y huesos de animales bovinos de 49,04 % y 59,9 % respectivamente y alude que, el nivel de carbono en la biomasa inicial es baja y luego de sufrir una descomposición térmica (pirólisis) este nivel se incrementa.

Almaroai et al. (2013), encontró en el biocarbón elaborado a partir de huesos de vaca valores de 82,3 % de contenido de carbono, comparando con el biocarbón elaborado a partir de hueso avícolas y porcinos se puede decir que los valores de carbono encontrados son similares.

#### e) Relación carbono - nitrógeno

El resultado de la relación carbono – nitrógeno que presenta los biocarbones avícola y porcino se muestra en la Figura 35, en el que se visualiza una diferencia entre estos, alcanzando una puntuación mayor el biocarbón porcino con valor de 27,2 mientras que el biocarbón avícola registra un valor de 21,2.



**Fig. 35:** Relación carbono - nitrógeno del carbón avícola y porcino

Los valores resultantes fueron superiores a los obtenidos por Hussain et al. (2021), en el biocarbón elaborado de paja de arroz y huesos de animales bovinos, los cuales presentaron registros de 15 y 3 respectivamente.

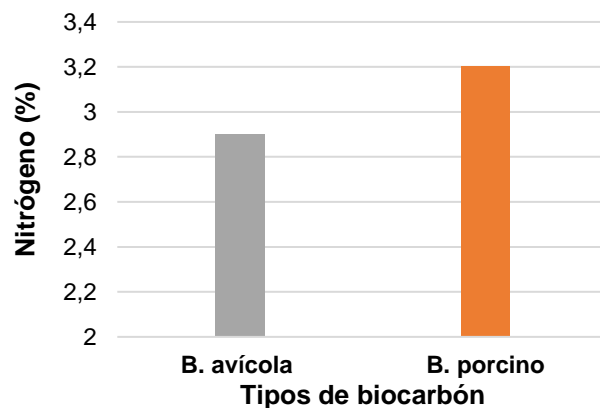
Huerta (2019), expone resultados semejantes (29,4%) de la relación carbono nitrógeno encontrado en el biocarbón producido de residuos orgánicos y asevera que dicho valor mantendrá una óptima conservación de nutrientes.

Trujillo (2017), señala que la relación carbono nitrógeno es un indicador de la función que posee un residuo orgánico de mineralizar e integrar el nitrógeno inorgánico mediante la aplicación al suelo y menciona que si el valor de la relación es elevada puede inmovilizar al nitrógeno por la intervención de los microorganismos, provocando así la escasez de nitrógeno para el desarrollo de las plantas y para no producir esta inmovilización toma referencia a la relación carbono – nitrógeno con valores entre el 25 y 30 para los productos elaborados mediante del compostaje.

#### **4.2.2 Análisis de nutrientes**

##### **a) Nitrógeno**

Realizando una comparación del nivel de nitrógeno encontrado en los huesos carbonizados (Fig. 36), se puede decir que no existe una diferencia notoria, en donde se observa que el biocarbón porcino alcanza un porcentaje superior con un 3,2 %, mientras que el biocarbón avícola registra un porcentaje del 2,9 %. Sin embargo, el porcentaje de la cantidad de nitrógeno encontrado en el biocarbón es bajo.



**Fig. 36:** Nitrógeno presente en el biocarbón avícola y porcino

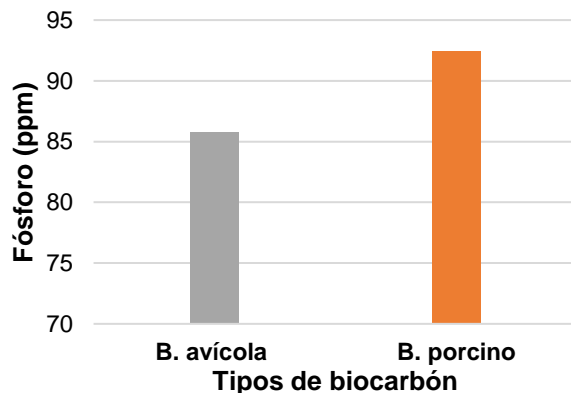
Trujillo (2017), indica que el nitrógeno es el nutriente más vulnerable al tratamiento térmico, a temperaturas altas reduce su nivel de contenido.

El nitrógeno resultante fue muy semejante con los valores encontrados por Lima et al. (2017), en el biochar elaborado a partir de cáscara de café, el cual presento resultados de 2,74 % de contenido.

Los valores de nitrógeno presentados por Trujillo et al. (2019), en el biocarbón de pollinaza, gallinaza y la su mezcla, registraron contenidos de 2,16 1,26 y 1,6 mg/kg respectivamente, siendo muy inferiores al biocarbón de huesos de animales avícolas y porcinos.

**b) Fósforo**

En la Figura 37 se muestra que el grafico de la columna del biocarbón porcino, alcanza el mayor contenido de fósforo con 92,4 ppm, mientras que el grafico de la columna del biocarbón avícola presenta un valor de 85,8 ppm, sin embargo, lo que se identifica es que no existe grandes diferencias de su contenido.



**Fig. 37:** Fósforo en el biocarbón avícola y porcino

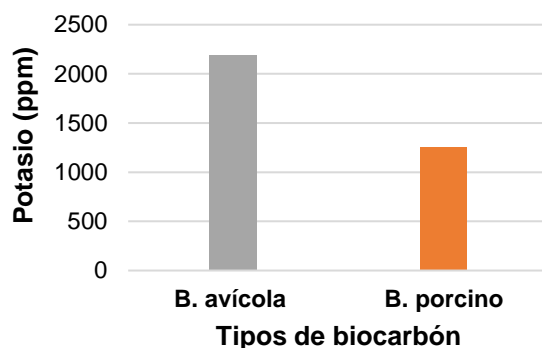
El fósforo encontrado, es el nutriente con el nivel de contenido inferior a todos los nutrientes presentes en el biocarbón avícola y porcino, lo que se llega a una concordancia mediante una comparación con estudios de Hussain et al. (2021), en su biochar producido a partir de huesos de animales que registra valores de  $0,075 \text{ g Kg}^{-1}$  equivalente a 75 ppm, demostrando que los contenidos de fósforo son similares.

Moreno (2017), en el biochar elaborado en diferentes temperaturas a partir de sarmiento de viñas, presenta resultados de contenido de fósforo de 2,08 y 2,45 %, siendo superior a los valores encontrados en los huesos carbonizados.

Iglesias (2018), en su estudio de biocarbón elaborado a partir de derivados de eucalipto expone contenidos de fósforo de 0,5 %, siendo superiores a los de este estudio.

### c) Potasio

En la Figura 38 se observa el contenido de potasio resultante de los huesos carbonizados avícolas y porcinos; registraron valores de 2188,6 ppm y 1260,3 ppm respectivamente, en el que se muestra que existe una diferencia considerable en el contenido de potasio entre biocarbones, siendo el biocarbón avícola quien presenta un valor superior al biocarbón porcino.



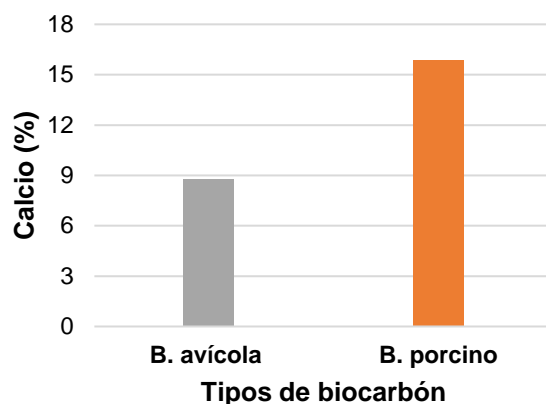
**Fig. 38:** Potasio del biocarbón avícola y porcino

Park et al. (2021), en la producción de biochar de huesos de cerdo, elaborado a una temperatura de  $250^{\circ}\text{C}$ , revela valores de  $6,58 \text{ cmol kg}^{-1}$  perteneciente a 2566,2 ppm de contenido de potasio, así mismo registra valores altos de contenido de potasio en el biocarbón elaborado a temperaturas superiores.

Torres et al. (2014), muestra valores de contenido de potasio en biochar de cepas viejas de 1,6 por ciento, superando a los valores encontrados en este estudio, pero semejantes al biocarbón elaborado por Iglesias (2018), en el que señala resultados de potasio de 0,2 a 0,5 %.

#### d) Calcio

El calcio resultante de los huesos carbonizados se visualiza en la Figura 39, donde se evidencia una diferencia debido a que el biocarbón porcino obtiene un mayor valor con un 15,9 %, mientras que el biocarbón avícola presenta un valor de 8,8 %.



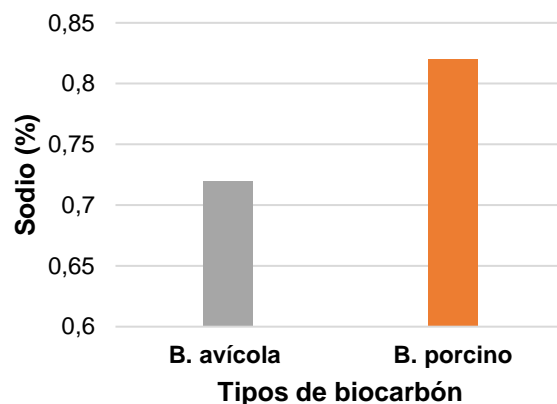
**Fig. 39:** Calcio del biocarbón avícola y porcino

El calcio encontrado en los huesos carbonizados, es el nutriente que registró el mayor porcentaje de contenido referente a todos los nutrientes presentes en el biocarbón, sin embargo los valores son inferiores a los revelados por Azeem et al. (2021), en el que señala valores de 231 g Kg<sup>-1</sup> equivalente a un 23,1% de contenido de potasio presente en biocarbón elaborado a partir de huesos de oveja a temperaturas de 500°C.

Existe una aproximación entre los contenidos de calcio del biocarbón avícola y porcino con los resultados presentados por (Trujillo et al., 2019) en el biocarbón de gallinaza (20,3 %), pollinaza (5 %) y su mezcla (21,9%), mientras que Moreno (2017), en su biochar de sarmientos de viñas señala contenidos de calcio muy superiores con niveles que alcanzan a 41,6 por ciento.

#### e) Sodio

El porcentaje de sodio encontrado en los biocarbones se visualiza en la Figura 40, donde el biocarbón porcino presenta un nivel superior con el 0,82 %, mientras que el biocarbón avícola registra valores de 0,72 %, demostrando que existe una homogeneidad en su contenido ya que sus valores presentan mínimas diferencias.



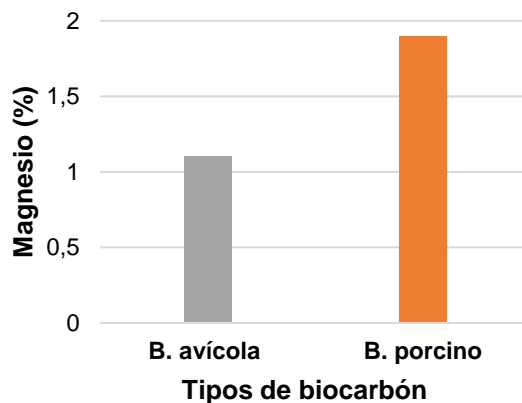
**Fig. 40:** Sodio en el biocarbón avícola y porcino

Investigaciones de Hussain et al. (2021), registra valores de 0.048%, inferiores al porcentaje de sodio encontrado en el biocarbón de huesos avícolas y porcinos.

En el biocarbón proveniente de residuos derivados de eucalipto, elaborado por Iglesias (2018), se halla niveles de contenido de sodio cercanos a los provenientes de huesos avícolas y porcinos que van desde 0,11 a 0,17 %, muy semejantes a estudios reportados por Trujillo (2017), en el que se encuentra valores de 0,54 a 1,32 por ciento,

**f) Magnesio**

En la Figura 41 se muestra el porcentaje resultante de magnesio encontrado en los huesos carbonizados, notándose que el biocarbón porcino mantiene una superioridad con valores del 1,9 %, mientras que el biocarbón avícola posee un valor de 1,1 %, sin embargo, el contenido de sodio presente en los biocarbones es relativamente bajo en comparación con los nutrientes presentes en los dos tipos de biocarbón.



**Fig. 41:** Magnesio en el biocarbón avícola y porcino

Azeem et al. (2021), el biochar elaborado a partir de huesos de oveja presenta porcentajes de magnesio de 0,89 % y 1,01 % a temperaturas de 500°C y 800°C respectivamente, mostrando similitud con el magnesio encontrado en el biocarbón porcino y avícola.

En investigaciones de Moreno, (2017; Trujillo et al., (2019), en biocarbones provenientes de otro tipo de biomasa, se encuentran niveles de contenido de sodio que oscilan desde 4,02 a 9,9 %, siendo muy superiores a los resultados adquiridos en este estudio.

#### 4.2.3 Análisis de componentes principales del biocarbón

##### a) Cenizas

El resultado del porcentaje de ceniza presente en los biocarbones se muestra en la Figura 42, los valores del nivel de contenido que poseen son de 18,5 % y 15,7% para el biocarbón porcino y avícola respectivamente, en el que se considera que, al mantener una mínima diferencia, sus valores son homogéneos.

##### b) Materia volátil

En la Figura 42 se visualiza el porcentaje de contenido de materia volátil encontrada en los huesos carbonizados, en donde se evidencia que el biocarbón avícola alcanza un nivel de concentración superior (2,2%) al contenido del biocarbón porcino (1,7%), sin embargo, su diferencia es mínima.

##### c) Humedad

El porcentaje de humedad resultante de los biocarbones se observa en la Figura 42, los valores registrados son muy similares, el biocarbón porcino presenta un nivel de contenido de 1,8 % mientras que el biocarbón avícola presenta un valor inferior de 1,4 %.

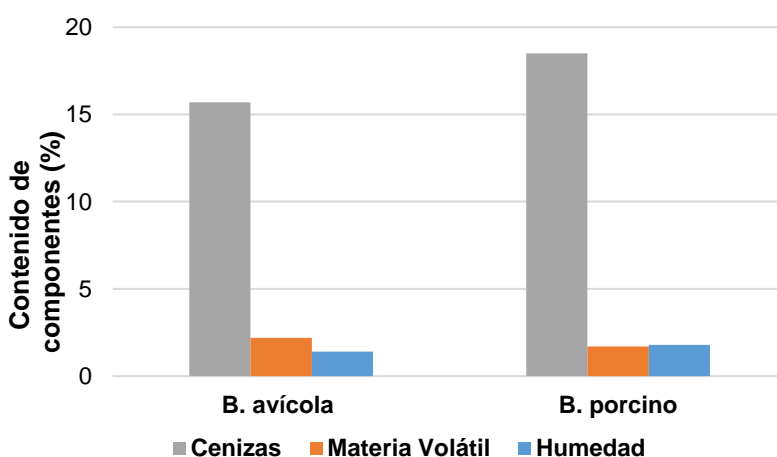


Fig. 42: Componentes principales del biocarbón avícola y porcino

De acuerdo a los valores registrados de los huesos carbonizados, Trujillo et al. (2019), indica que el resultado de humedad en biocarbón es dependiente del nivel de temperatura durante el proceso de pirólisis y a su vez de la metodología utilizada para su determinación, en este estudio se usó el método (NTP 311,012 1970).

El contenido de los componentes encontrados mantienen una diferencia regular con la investigación de Hussain et al. (2021), elaboración de biocarbón a partir de huesos de animales, registrando lo siguiente: el contenido de cenizas fue superior con el 30 %, el contenido de materia volátil registró un porcentaje del 1 %, siendo un resultado inferior, mientras que el contenido de humedad posee un valor mayor con el 8% de contenido.

Almaroai et al. (2013), en su biochar expone diferentes niveles de contenido a los valores encontrados en el biocarbón porcino y avícola, los cuales presenta los valores subsiguientes: ceniza (5,03 %), materia volátil (31,42 %) y humedad (6,83%).

### **4.3 Incidencia del biocarbón en las plantas de col**

Para determinar el efecto que tiene el biocarbón en el desarrollo de las plantas de col, se procedió a evaluar diferentes variables mediante la recopilación de datos cuantitativos de la planta de col, en el cual se aplicó un análisis estadístico de cada variable para establecer la incidencia que tiene los biocarbones al ser aplicados a diferentes dosificaciones en el suelo donde se sembraron las semillas de col.

#### **4.3.1 Análisis estadístico de variables**

Se desarrolló un análisis estadístico de cinco variables tomadas de las plantas de col después de 36 días de su siembra, en el que se registró datos cuantitativos de: longitud y peso de la raíz, altura de la plántula, peso de la parte aérea de la plántula y número de hojas. Para su desarrollo se empleó el estudio estadístico de varianza ANOVA y la prueba Tukey HSD. En el cual el ANOVA nos sirvió para verificar que tan ajustadas o dispersas se encuentran las medias registradas de los tratamientos, mientras que las pruebas Tukey fueron aplicadas para comprobar si existe diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los tratamientos con la media del tratamiento testigo, para establecer cuál es el comportamiento de los datos registrados se planteó la pregunta que se muestra a continuación, la cual nos sirve para las hipótesis formuladas en cada una de las variables dependientes.

Planteamiento de pregunta:

**¿Hay evidencia suficiente, estadísticamente significativa, en la diferencia de las medias registradas en los tratamientos de la variable en cuestión?**

$$\text{Hipotesis nula: } H_0: \mu d = 0 \quad (2)$$

$$\text{Hipotesis nula: } H_1: \mu d \neq 0 \quad (3)$$

### a) Evaluación de la longitud de la raíz

Planteamiento de hipótesis:

**Hipótesis nula:** las medias de los tratamientos en la longitud de la raíz son iguales a la media del tratamiento testigo, con la confiabilidad del 95%.

**Hipótesis alternativa:** la media de por lo menos un tratamiento en la longitud de la raíz es diferente a la media del testigo, con la confiabilidad del 95%.

Los datos registrados de la prolongación de la raíz de las plántulas de col, extraída de los siete tratamientos incluyendo al testigo con sus respectivas repeticiones después de 36 días de su siembra, se evidencian en la Tabla 10, añadiendo promedios, valores P y clase de acuerdo a la estadística descriptiva (Anexo 3).

En base a la hipótesis planteada con el nivel de confiabilidad del 95 %, mediante el análisis estadístico de varianza ANOVA (Anexo 3) se obtuvo que la variable longitud de la raíz, registra un valor F de 8,707 y un valor P de  $7,88 \times 10^{-5}$  con un grado de libertad equivalente a 6, en el que se evidencio que el valor P es inferior al valor de significancia estadística (0,05). Por tanto, tal resultado revela que se rechaza la  $H_0$  y propone aceptar la  $H_1$ ; indicando que la media de por lo menos un tratamiento de la variable es diferente a la media del tratamiento testigo con el 95% de confianza; registros que se demuestran en la Tabla 10.

**Tabla 10:** Resultados de la longitud de la raíz de la plántula de col, 36 días posteriores de la siembra

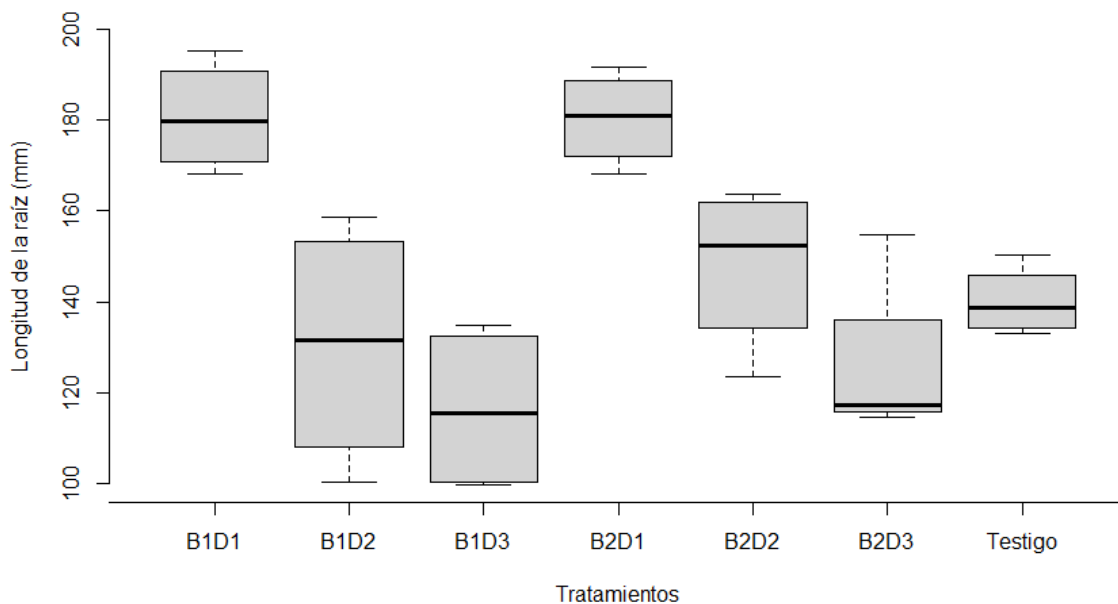
| Tratamientos | Longitud de la raíz de la col (mm) |        |        |        | Media  | P. Tukey | Clase |
|--------------|------------------------------------|--------|--------|--------|--------|----------|-------|
|              | Repeticiones                       |        |        |        |        |          |       |
|              | R1                                 | R2     | R3     | R4     |        |          |       |
| B1D1         | 168,06                             | 185,97 | 173,53 | 195,27 | 180,71 | 0,045    | B     |
| B1D2         | 115,49                             | 158,59 | 100,48 | 147,8  | 130,59 | 0,985    | A     |
| B1D3         | 100,64                             | 134,86 | 99,82  | 130,07 | 116,35 | 0,480    | A     |
| B2D1         | 185,54                             | 167,96 | 191,59 | 176,06 | 180,29 | 0,048    | B     |
| B2D2         | 123,51                             | 163,74 | 159,88 | 144,66 | 147,95 | 0,995    | A     |
| B2D3         | 114,74                             | 117,36 | 154,83 | 116,9  | 125,96 | 0,903    | A     |
| Testigo      | 141,7                              | 132,97 | 150,13 | 135,73 | 140,13 |          | A     |

Según la prueba Tukey HSD realizada, se comprobó que la media de algunos de los tratamientos presenta diferencias estadísticamente significativas con la media del tratamiento testigo. Los valores registrados (Tabla 10), muestran que los tratamientos B1D1 y B2D1, en comparación con el tratamiento testigo registraron un valor P inferior al nivel de significancia estadística (0,05), lo que indica que sus medias si presentan una diferencia significativa, mientras que las medias de los demás tratamientos (B1D2, B1D3, B2D2, B2D3) al obtener valores P

superiores al valor de significancia estadística, indican que las medias mantienen similitud con la media del testigo.

La columna final de la Tabla 10 indica la clase de la media de los tratamientos, el tratamiento testigo está representado con el literal A y las medias de los tratamientos que mantengan homogeneidad con este, comparten el mismo literal, por otro lado, el que mantenga una media diferente estadísticamente significativa, como es el caso de los tratamientos B1D1 Y B2D1 se les representó con el literal B.

En la Figura 43 se demuestra lo antes mencionado y se puede apreciar que las medias de los tratamientos B1D1 y B2D1 presentaron un mayor alcance en la longitud de la raíz, en el que superaron con el 22,5 % y 22 % respectivamente a la media del tratamiento testigo, lo cual justifica la diferencia significativa estadísticamente. Por otra parte, se observa que la media de la longitud de la raíz del tratamiento B2D2 también supera a la media del testigo con el 5 %, sin embargo, este tratamiento no presentó diferencia significativa, comprobando que mantiene una homogeneidad con la media del testigo. En cuanto a la longitud de los tratamientos restantes, se evidencia que las medias se encuentran por debajo de la media del testigo, superando así a los tratamientos: B1D2 con el 7%, B2D3 con el 10 % y B1D3 con el 17 %, a pesar de tales resultados, estos tampoco presentaron diferencias estadísticamente significativas, probando que las medias conservan una proximidad a la media del testigo.



**Fig. 43:** Boxplots de la longitud de raíces de las plántulas de col

De acuerdo a los valores obtenidos se demuestra que el biocarbón porcino como el biocarbón avícola aplicados al suelo a una dosificación del 2 % mantienen una similitud entre sí, aportando positivamente al crecimiento de la raíz de la plántula de col, mientras que los mismos biocarbones aplicados al suelo a una dosificación de 5 % y 7 % limitan o mantienen semejanza con el desarrollo de la raíz de la plántula de col sin aplicación de biocarbón, situación que concuerda con el estudio de Azeem, et al. (2021), sobre el efecto del biocarbón de huesos de vaca en el crecimiento de las raíces de maíz, al revelar que los tratamientos con una dosis del 2,5 % alcanza mayor longitud de raíz, con una diferencia significativa estadísticamente en comparación con el control o testigo, mientras que los tratamientos con dosis de 5% y 10 % mantienen una homogeneidad e inferioridad respectivamente, con el tamaño de la raíz del testigo.

### **b) Evaluación del peso de la raíz**

Planteamiento de hipótesis:

**Hipótesis nula:** las medias de los tratamientos en el peso de la raíz son iguales a la media del tratamiento testigo, con la confiabilidad del 95%.

**Hipótesis alternativa:** la media de por lo menos un tratamiento en el peso de la raíz es diferente a la media del testigo, con la confiabilidad del 95%.

En la Tabla 11 se detallan los datos registrados del peso de la raíz de la col, tomadas de cada repetición de los diferentes tratamientos 36 días posteriores a su siembra. Se presenta los valores promedios y los valores de las pruebas Tukey con su respectiva clasificación, acorde a la estadística descriptiva que se detalla en el Anexo 4.

Según el análisis estadístico de varianza ANOVA (Anexo 4) se registró que la variable peso de la raíz obtuvo un valor F de 9,251 y un valor P de  $5,14 \times 10^{-5}$  con grado de libertad (6), demostrando que el valor P al estar por debajo del nivel de significancia (0,05), indica que se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa que revela que debe existir diferencia estadísticamente significativa en la media de al menos un tratamiento con la media del testigo, con el porcentaje del 95% de confiabilidad, datos que se evidencian en la Tabla 11.

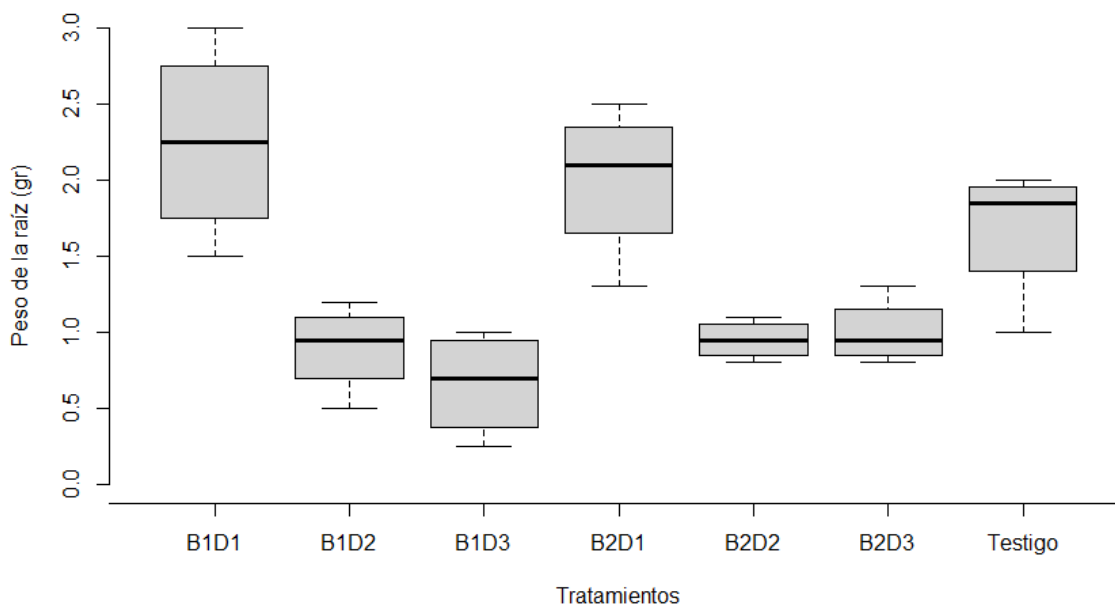
**Tabla 11:** Resultados del peso de la raíz de la plántula de col, 36 días posteriores de la siembra

| Tratamientos | Peso de la raíz de la col (gr) |     |     |     | Media | P. Tukey | Clase |
|--------------|--------------------------------|-----|-----|-----|-------|----------|-------|
|              | R1                             | R2  | R3  | R4  |       |          |       |
| B1D1         | 2,5                            | 2   | 3   | 1,5 | 2,25  | 0,444    | A     |
| B1D2         | 1,2                            | 0,9 | 1   | 0,5 | 0,9   | 0,149    | A     |
| B1D3         | 0,25                           | 0,9 | 1   | 0,5 | 0,66  | 0,028    | C     |
| B2D1         | 2,5                            | 2   | 2,2 | 1,3 | 2     | 0,912    | A     |
| B2D2         | 0,9                            | 1,1 | 1   | 0,8 | 0,95  | 0,202    | A     |
| B2D3         | 0,8                            | 1   | 1,3 | 0,9 | 1     | 0,269    | A     |
| Testigo      | 1,8                            | 2   | 1,9 | 1   | 1,68  |          | A     |

Mediante la prueba Tukey empleada para la evaluación del peso de la raíz de las plántulas de col, se demostró que existe diferencia estadísticamente significativa en la media de uno de los tratamientos con la media del testigo. Los datos obtenidos (Tabla 11), indican que las medias de todos los tratamientos a excepción del tratamiento B1D3, en comparación con la media del tratamiento testigo obtuvieron un valor P superior a nivel de significancia (0,05), por tanto, demostraron que existe cierta proximidad entre ellas, mientras que la media del tratamiento B1D3, presenta un valor inferior al nivel de significancia lo que indica que su media es diferente a la media del testigo.

La clasificación de las medias de los tratamientos se evidencia en la columna final de la Tabla 11, en el que se indica que la media del tratamiento que comparte homogeneidad con la media del testigo está representada con el literal A, mientras que la media del tratamiento (B1D3) que sujeta una diferencia significativa se le presentó con el literal C.

El diagrama de cajas (Fig. 44) expone lo antes indicado, observando el comportamiento de las medias del peso alcanzado de la raíz de cada tratamiento, se evidencia que la media de los tratamientos B1D1 Y B2D1 revelaron un mejor peso en sus raíces superando a la media del testigo en un 25 % y 16 % respectivamente, sin embargo, la prueba Tukey demuestra similitud entre sus medias. Las medias de los tratamientos que también mantienen homogeneidad con la media del testigo presentan inferioridad en su peso, donde el testigo supera a las medias de los tratamientos B2D3, B2D2, B1D2 con el 40 %, 43 % y 46 % respectivamente. Por otro lado, la media del tratamiento B1D3 se encuentra muy por debajo de la media del testigo en el que lo supera con el 61 %, comprobando que si existe diferencia significativa estadísticamente.



**Fig. 44:** Diagrama de cajas del peso de las raíces de las plántulas de col

A pesar de que las pruebas Tukey nos indican que las medias de los tratamientos aplicados a diferentes dosis (2%, 5%, 7%) de biocarbón porcino y avícola, sostienen una semejanza con la media del tratamiento testigo. Se observa que tanto la media de los tratamientos B1D1 Y B2D2 registraron un mayor alcance en el peso de las raíces, demostrando que a dosis bajas se obtuvo un mejor resultado. Escenario que mantiene una aproximación con el estudio de (Azeem, et al., 2021).

### c) Evaluación de la altura de la plántula

Planteamiento de hipótesis:

**Hipótesis nula:** las medias de los tratamientos en la altura de la plántula son iguales a la media del tratamiento testigo, con la confiabilidad del 95%.

**Hipótesis alternativa:** la media de por lo menos un tratamiento en la altura de la plántula es diferente a la media del testigo, con la confiabilidad del 95%.

El registro de información del efecto del biocarbón porcino y avícola sobre la altura de las plántulas de col 36 días después de su siembra se identifican en la Tabla 12, se detallan los tratamientos con las respectivas medias, valor P y clasificación, según la estadística descriptiva (Anexo 5).

El análisis estadístico de varianzas ANOVA (Anexo 5) realizado para la base de datos de la altura de las plántulas de col (Tabla 12), reveló un valor F de 6,388 y un valor p de 0,000606 con el grado de libertad equivalente a 6, como se evidencia que el resultado se encuentra dentro del nivel de confianza del 95 %, de acuerdo a la hipótesis planteada, recomienda rechazar la hipótesis nula y

se acepta la hipótesis alternativa que indica que la media de por lo menos un tratamiento de la variable es diferente a la media del tratamiento testigo.

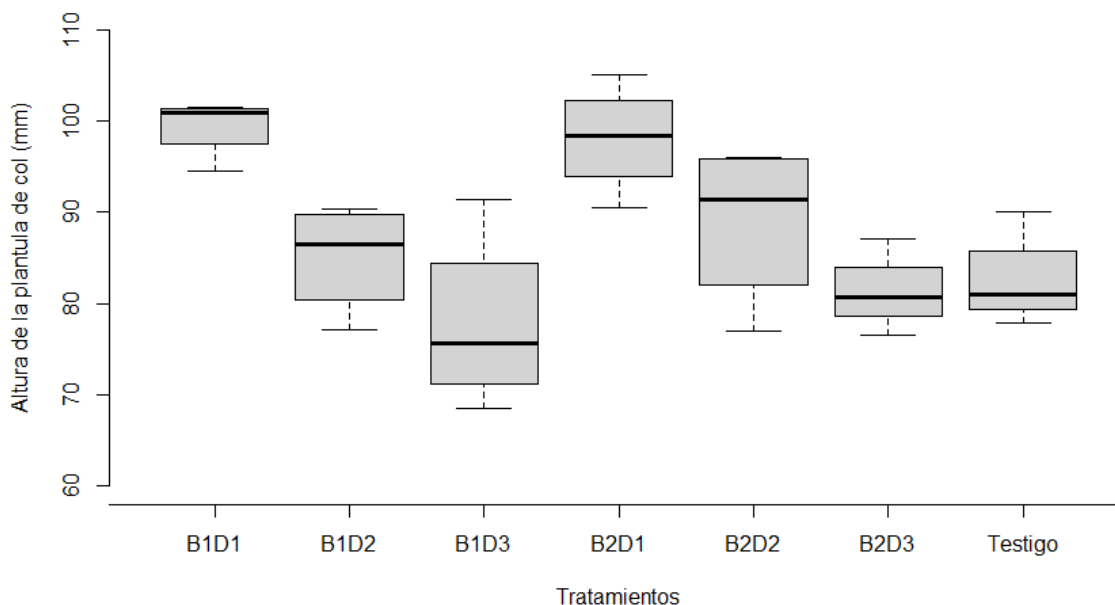
**Tabla 12:** Resultados de la altura de la plántula de col, 36 días posteriores de la siembra

| Tratamientos | Repeticiones |        |        |        | Media | P. Tukey | Clase |
|--------------|--------------|--------|--------|--------|-------|----------|-------|
|              | R1           | R2     | R3     | R4     |       |          |       |
| B1D1         | 94,47        | 101,29 | 101,51 | 100,34 | 99,4  | 0,023    | B     |
| B1D2         | 77,1         | 83,63  | 90,33  | 89,22  | 85,07 | 0,997    | A     |
| B1D3         | 68,42        | 91,41  | 74     | 77,23  | 77,76 | 0,947    | A     |
| B2D1         | 99,48        | 105,03 | 97,24  | 90,48  | 98,06 | 0,043    | B     |
| B2D2         | 77           | 87,03  | 95,91  | 95,72  | 88,91 | 0,808    | A     |
| B2D3         | 76,56        | 80,58  | 87,06  | 80,71  | 81,23 | 0,999    | A     |
| Testigo      | 77,84        | 90,07  | 81,28  | 80,69  | 82,47 |          | A     |

De acuerdo a los valores P registrados mediante la prueba Tukey HSD (Tabla 12), sobre los datos de altura de la plántula de col, se identificó que las medias de algunos tratamientos respecto a la media del tratamiento testigo muestran diferencias significativas. Las medias de los tratamientos (B1D1 y B2D1) presentaron valores P inferiores al valor de significancia estadística (0,05), demostrando que existe una discrepancia con la media del testigo. Por otro lado, se evidenció que las medias de los tratamientos (B1D2, B1D3, B2D2, B2D3) registraron superioridad en el valor de significancia estadística sujetando una homogeneidad con respecto a la media del tratamiento testigo.

La clasificación de las medias de los tratamientos según su diferencia estadísticamente significativa se muestra en la Tabla 12, las mismas que coinciden con la clasificación de las medias de los tratamientos de la longitud de la raíz, en el que se indica que las medias que mantienen una aproximación a la media del testigo, comparten el mismo literal (A) y los que contienen diferencias significativas se les representa con un literal distinto (B).

El diagrama de cajas (Fig. 45) muestra la altura alcanzada por cada uno de los tratamientos, en el que se evidencia que las medias de los tratamientos B1D1, B2D1, B2D2 y B1D2 presentan su mayor efecto en el tamaño de las plántulas, superando a la media del tratamiento testigo con el 17 %, 16%, 7% y 3 % respectivamente. No obstante, de acuerdo a las pruebas Tukey, la media de los tratamientos (B1D1 Y B2D1) son los únicos que enseñan diferencia significativa con la media del tratamiento testigo. Para el caso de los tratamientos B1D3 Y B2D3 se evidencia que la media del tratamiento testigo se encuentra por encima de sus medias con el 7% y 2% respectivamente. Aspecto que demuestra una cierta proximidad a la media del testigo.



**Fig. 45:** Diagrama de cajas de la altura de las plántulas de col

En la investigación realizada por Azeem, et al. (2021), efectos del biocarbón de huesos vacunos en el tamaño de las plantas de maíz, se encuentra resultados similares donde los tratamientos aplicados al 2,5% y 5% alcanzan un mejor rendimiento en el crecimiento de la planta, marcando una diferencia con la media del testigo, mientras que los tratamientos con la dosificación del 10 % muestran homogeneidad con el testigo, situación semejante a esta investigación, donde se observa que el biocarbón porcino y avícola aplicados con dosis del 2% y 5% revelan mayor crecimiento de las plántulas de col respecto al tratamiento testigo, en cambio los tratamientos aplicados al 7% registran datos inferiores a este.

#### **d) Evaluación del peso de la parte aérea de la plántula**

Planteamiento de hipótesis:

**Hipótesis nula:** las medias de los tratamientos en la parte aérea de la plántula son iguales a la media del tratamiento testigo, con la confiabilidad del 95%.

**Hipótesis alternativa:** la media de por lo menos un tratamiento en la parte aérea de la plántula es diferente a la media del testigo, con la confiabilidad del 95%.

Los resultados que se obtuvieron sobre el peso de cada plántula, adquirida después de 36 días de haber sembrado, se detallan en la Tabla 13, en el que se adjunta sus respectivas medias, valor P y clasificación de acuerdo a la estadística descriptiva que se evidencia en el Anexo 6.

Para establecer una de las hipótesis planteadas de acuerdo al comportamiento del peso de la parte aérea de la plántula de col, se realizó un análisis de varianzas ANOVA (Anexo 6) en el que de

acuerdo a los resultados obtenidos del valor F (36,82), valor P ( $4,36 \times 10^{-5}$ ) y grado de libertad (6), se evidencia que, si existe variación del grupo de medias, en el que se sugiere rechazar la  $H_0$  y aceptar la  $H_1$ , el cual menciona que la media de por lo menos un tratamiento de la variable en cuestión es diferente a la media del testigo, con la confiabilidad del 95%.

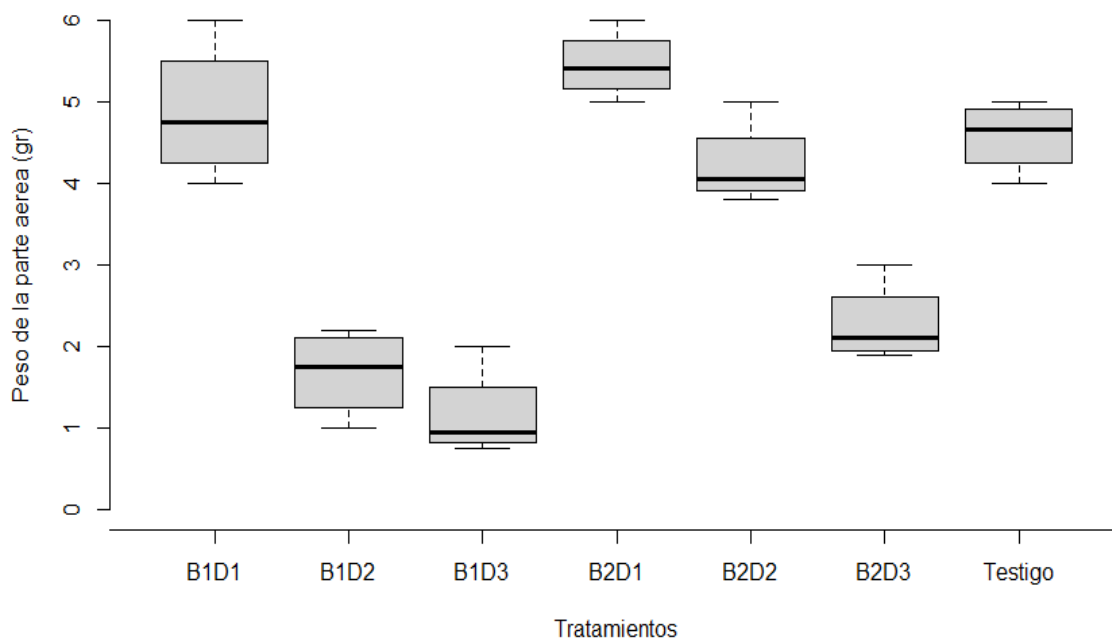
**Tabla 13:** Resultados del peso de la parte aérea de la plántula de col, 36 días posteriores de la siembra

| Tratamientos | Peso de las plantas de col (gr) |     |     |     | Media | P. Tukey  | Clase |
|--------------|---------------------------------|-----|-----|-----|-------|-----------|-------|
|              | Repeticiones                    |     |     |     |       |           |       |
|              | R1                              | R2  | R3  | R4  |       |           |       |
| B1D1         | 4,5                             | 4   | 6   | 5   | 4,88  | 0,9872932 | A     |
| B1D2         | 2,2                             | 2   | 1   | 1,5 | 1,68  | 0,0000070 | C     |
| B1D3         | 0,75                            | 2   | 0,9 | 1   | 1,16  | 0,0000005 | C     |
| B2D1         | 5,5                             | 6   | 5,3 | 5   | 5,45  | 0,3422019 | A     |
| B2D2         | 5                               | 3,8 | 4   | 4,1 | 4,22  | 0,9724841 | A     |
| B2D3         | 2,2                             | 2   | 3   | 1,9 | 2,28  | 0,0001824 | C     |
| Testigo      | 5                               | 4   | 4,8 | 4,5 | 4,58  |           | A     |

Para identificar la diferencia existente entre las medias de los tratamientos registrados con respecto a la media del testigo, la prueba Tukey HSD aplicada, de acuerdo a los valores P resultantes (Tabla 13), nos indican que las medias de algunos tratamientos no presentan diferencia significativa con la media del testigo, tal es el caso en el cual se evidencia que la media de los tratamientos (B1D1, B2D1, B2D2) se encuentran por encima del valor de significancia (0,05), mientras que la media de los tratamientos (B1D2, B1D3, B2D3), presentan valores P inferiores al valor de significancia, indicando su diferencia significativa con la media del tratamiento testigo.

Los literales que se muestran en la columna final de la Tabla 13 indican la clase de cada de la media de cada tratamiento, donde el tratamiento que comparta el mismo literal (A) con el testigo indica su semejanza en las medias y aquel tratamiento que esté representado por un literal diferente (C) al testigo revela su diferencia.

En la Figura 46 se visualiza el diagrama de cajas del peso adquirido por la parte aérea de cada plántula, en el que se evidencia que la media de los tratamientos B1D1 Y B2D1 registraron datos mayores a la media del testigo con el 6 % y 15% respectivamente, mientras que la media del tratamiento B2D2 es superada por la media del testigo con el 7 %, sin embargo, tales resultados indican que los tratamientos no presentan diferencia estadísticamente significativa con la media del testigo. Por otro lado, las medias de los tratamientos B1D2, B1D3 y B2D3 que mantienen diferencia significativa son superados por la media del testigo con el 63 %, 74 % y 50 % respectivamente.



**Fig. 46:** Boxplots del peso de la parte aérea de las plántulas de col

A pesar de no encontrar diferencia significativa en los resultados obtenidos del peso de la plántula, se evidencia que los huesos carbonizados porcinos y avícolas aplicados en dosis con tratamientos del 2% (B1D1 Y B2D1) son los que presentaron mayor eficacia en el peso con respecto al testigo, en cambio los tratamientos con dosificación mayor (5 % y 7%) revelaron resultados homogéneos e incluso inferiores al tratamiento testigo. Estos registros se asemejan a resultados presentados por estudios de (Trujillo et al. 2019), en el que elaboró biocarbón a partir de pollinaza y gallinaza, y los aplicó en plántulas de rábano demostrando que obtuvo mayor peso aquellos que fueron suministrados con las dosificaciones bajas (1% y 3%).

### e) Evaluación del número de hojas

Planteamiento de hipótesis:

**Hipótesis nula:** las medias de los tratamientos en el número de hojas son iguales a la media del tratamiento testigo, con la confiabilidad del 95%.

**Hipótesis alternativa:** la media de por lo menos un tratamiento en el número de hojas es diferente a la media del testigo, con la confiabilidad del 95%.

En la Tabla 14 se detalla el registro del número de hojas alcanzadas por cada plántula de col 36 días posteriores a su siembra, en el que se adjunta sus respectivas medias, pruebas Tukey y Clase que se detallan en el (Anexo 7).

El análisis de varianza (ANOVA) (Anexo 7) realizado para el grupo de medias de los tratamientos de la variable número de hojas, registró la siguiente información valor F (5,246), valor

P (0,0019) y grado de libertad (6), demostrando que si hay diferencia significativa. Por tanto, la sugerencia de acuerdo a tales resultados fue de rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa: que indica que, si al menos la media de un tratamiento es diferente a la media del testigo, con un nivel de confianza del 95%.

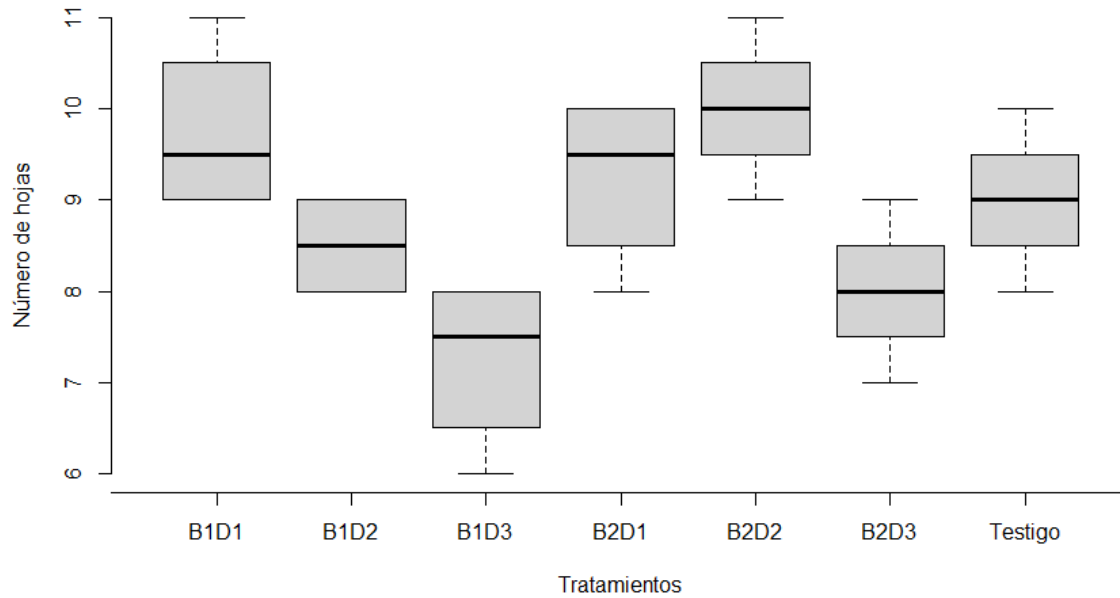
**Tabla 14:** Resultados del número hojas de la plántula de col, 36 días posteriores de la siembra

| Tratamientos | Número de hojas por planta |    |    |    | Media | P. Tukey | Clase |
|--------------|----------------------------|----|----|----|-------|----------|-------|
|              | Repeticiones               |    |    |    |       |          |       |
|              | R1                         | R2 | R3 | R4 |       |          |       |
| B1D1         | 11                         | 9  | 10 | 9  | 9,75  | 0,869    | A     |
| B1D2         | 9                          | 9  | 8  | 8  | 8,5   | 0,979    | A     |
| B1D3         | 8                          | 6  | 8  | 7  | 7,25  | 0,100    | A     |
| B2D1         | 10                         | 9  | 10 | 8  | 9,25  | 1,000    | A     |
| B2D2         | 10                         | 9  | 11 | 10 | 10    | 0,648    | A     |
| B2D3         | 8                          | 9  | 8  | 7  | 8     | 0,648    | A     |
| Testigo      | 8                          | 9  | 10 | 9  | 9     |          | A     |

La prueba Tukey reveló que todos los valores P (Tabla 14) son superiores al valor de significancia estadística (0,05), indicando que las medias de los tratamientos mantienen una aproximación a la media del testigo. Por tanto, de acuerdo a los resultados del análisis de varianza para el número de hojas de la plántula al indicar que, si existe diferencia entre el grupo de medias, se refirió a que la diferencia está entre algunas de las medias de los tratamientos. Sin embargo, tal diferencia no existió con la media del tratamiento testigo.

La clase de las medias de los tratamientos con respecto a la media del testigo, fueron representadas con un mismo literal (A), enseñando su homogeneidad en las medias.

En el diagrama de cajas (Fig. 47) se evidencia el rango alcanzado (7,25 - 10) de la media del número de hojas que registró cada plántula. En el que se observa que la media de los tratamientos B1D1, B2D1 y B2D2 superan a la media del testigo con un número de hojas de 0,75 0,25 y 1 respectivamente, mientras que las medias de los tratamientos B1D2, B1D3 y B2D3 se encuentran por debajo de la media del tratamiento testigo con un número de hojas de 0,5 1,75 y 1 respectivamente. Sin embargo, estos registros no presentan diferencia estadísticamente significativa con respecto a la media del testigo.



**Fig. 47:** Diagrama de cajas del número de hojas de las plántulas de col

La evaluación del número de hojas de la plántula de col, demostró que los tratamientos (B1D1 B2D1 y B2D1) aplicados con dosis (2% y 5%) de biocarbón porcino y avícola registraron el mayor número de hojas con respecto al tratamiento testigo. Por otro lado, los tratamientos con dosis superiores (7%) demostraron inferioridad en cantidad de sus hojas a la del testigo.

## **CAPÍTULO V**

### **5. CONCLUSIONES**

En base a los resultados obtenidos en la presente investigación se establecen las siguientes conclusiones:

El proceso de pirólisis permite la obtención de biocarbón a partir de residuos avícolas y porcinos lo cual se constituye en una opción amigable con el medio ambiente puesto que, estos residuos considerados desechos (basura) pueden ser transformados en recursos o materia prima para la recuperación de suelos, secuestro de carbono, regulador de pH en suelos ácidos y mejorador de sus propiedades físicas y químicas en general, siendo un aporte beneficioso ambientalmente.

El tratamiento termoquímico incide en las características de la biomasa al transformarse en biocarbón y a su vez depende también del origen de la materia prima, como es el caso del biocarbón porcino al diferir sus características con las características del biocarbón avícola, sencillamente por ser provenientes de dos animales diferentes.

En base al análisis de los biocarbones presentados por el laboratorio, se encontró que el nivel de contenido de las propiedades físicas y químicas resultantes en el biocarbón porcino son mayores, pero con mínimas diferencias que las encontradas en el biocarbón avícola. Por tanto, la cantidad de contenido en sus componentes mantienen una cierta homogeneidad.

En la incidencia del biocarbón aplicado en el suelo para el desarrollo de las plántulas de col mediante la evaluación de la longitud y peso de la raíz, altura y peso de la parte aérea de la plántula y el número de hojas, se demostró que los dos tipos de biocarbón (porcino y avícola) aplicados al suelo con dosificaciones del 2% obtuvieron los mejores rendimientos en el desarrollo de la plántula, mientras que la aplicación de biocarbón al suelo, con dosis del 5 % y 7 % limitaron tal desarrollo, en el que se concluye que a dosis bajas existe un aporte positivo en el crecimiento de las plantas de col y a dosis altas no existe ningún aporte.

## **CAPÍTULO VI**

### **6. RECOMENDACIONES**

A partir de las conclusiones obtenidas en la presente investigación, se establecen las siguientes recomendaciones:

Se puede implementar mejoras en las condiciones de los equipos reactores, en el que se pueda controlar la emisión de gases, materia volátil u otros, optimizando la elaboración de biocarbón para alcanzar un registro de información rigurosa de su composición.

Se recomienda realizar procesos de pirólisis con otros tipos de biomasa, considerando que el propósito de efectuar un tratamiento termoquímico, sea beneficioso para el ambiente.

Se propone popularizar esta opción tecnológica sostenible a sectores interesados en contribuir a favor del medio ambiente.

Se sugiere aplicar tales dosis en otros tipos de cultivos con una variedad de pruebas experimentales en el que se pueda evidenciar si surge efectos positivos en su desarrollo.

Sería importante modificar las dosificaciones en el mismo tipo de cultivo para establecer la dosis más adecuada para el desarrollo de la planta de col.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abenza, D. P. (2012). Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta. In *The European Union's Eco-Management and Audit Scheme (EMAS)*.  
[https://doi.org/10.1007/1-4020-3492-x\\_2](https://doi.org/10.1007/1-4020-3492-x_2)
- Almaroai, Y. A., Usman, A. R. A., Ahmad, M., Moon, D. H., Cho, J. S., Joo, Y. K., Jeon, C., Lee, S. S., & Ok, Y. S. (2013). Effects of biochar, cow bone, and eggshell on Pb availability to maize in contaminated soil irrigated with saline water. *Environmental Earth Sciences*, 71(3), 1289–1296. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2533-6>
- Amoah, S. (2019). *The effects of biochar on the soil properties and on yield formation of pea (Pisum Sativum L.) nine years after application* [University of Helsinki].  
<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/303090>
- Arévalo, D. (2019). Obtención de biochar a partir de la biomasa de podas forestales de la zona urbana de la ciudad de Cuenca. In *Universidad Católica de Cuenca*.  
<https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/8183>
- Azeem, M., Ali, A., Arockiam Jeyasundar, P. G. S., Bashir, S., Hussain, Q., Wahid, F., Ali, E. F., Abdelrahman, H., Li, R., Antoniadis, V., Rinklebe, J., Shaheen, S. M., Li, G., & Zhang, Z. (2021). Effects of sheep bone biochar on soil quality, maize growth, and fractionation and phytoavailability of Cd and Zn in a mining-contaminated soil. *Chemosphere*, 282. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131016>
- Azeem, M., Jeyasundar, A., Soundari, P. G., Abdelrahman, H., Latif, A., Basta, N., Shaheen, S. M., Rinklebe, J., & Zhang, Z. (2021). Bone-derived biochar improved soil quality and reduced Cd and Zn phytoavailability in a multi-metal contaminated mining soil. *Environmental Pollution*, 277. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116800>
- Bailón, A. (2009). “Sistema de siembra en el rendimiento de col china (*brassica chinensis* L.) variedad ‘wong bock’ en Tingo Maria” [Universidad Nacional Agraria de la Selva].  
<http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/75>
- Balladares, F. (2020). *Efectos de biochar como enmienda edáfica en la calidad sensorial del Cacao ccn-51 en el sector de río negro* [Universidad Técnica de Machala].  
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/15512>
- Baronti, S., Lanini, G. M., Vaccari, F. P., & Maienza, A. (2020). *L'uso del biochar nella*

*produzione di grano tenero per la mangimistica è una soluzione sostenibile per il futuro della zootecnia*. Istituto per La BioEconomia.

<https://progetti.crpv.it/File/downloadfile/443?name=rbreasfertilizzanti 2-2020 Biochar>

Bermeo, G., & Córdova, B. (2014). *“Diseño y construcción de un reactor de pirólisis de combustión lenta con una capacidad de 10 kg a escala de laboratorio para el tratamiento de los residuos sólidos biodegradables”* [Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/11957>

Briones, W. A. (2017). El cultivo de pimiento (*Capsicum annum* L) y su respuesta a la aplicación de carbón vegetal (Biochar) en la zona Baba- Ecuador. In *Universidad de Guayaquil*. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/10118>

Cangas, D. R. (2019). *Identificación de Alternaria Brasicae en el cultivo de col (Brasica Oleracea) en el barrio Santa Rosa, cantón Montufar* [Universidad Técnica de Babahoyo]. <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/6401>

Cuenca, J. A. (2019). Evaluación de la mineralización de biochar sobre parámetros químicos del suelo en dos tiempos de incubación. In *Universidad Técnica de Machala*. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/15166>

Demuner, G., Zapata, M. C., Campos, S. G., Zermeño, A., & Sánchez, F. de J. (2012). Efectos de tres sistemas de labranza y mejoradores de suelo en la disponibilidad de humedad y volumen de exploración de raíces. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3, 719–727. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342012000900014&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000900014&lng=es&tlng=es).

EcuRed. (2019). *Col*. EcuRed. <https://www.ecured.cu/index.php?title=Col&oldid=3345886>

Escalante, A., López, G. P., & Moreno, C. H. (2016). Biocarbón ( biochar ) I : Naturaleza , historia , fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34, 367–382. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792016000300367&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000300367&lng=es&tlng=es).

Fernández, M. (2017). Valoración de biomasa residual de origen animal mediante procesos termoquímicos. In *Universidad de Castilla-La Mancha*.

Flesch, F., Berger, P., Robles-Vargas, D., Santos-Medrano, G. E., & Rico-Martínez, R.

- (2019). Characterization and determination of the toxicological risk of biochar using invertebrate toxicity tests in the state of aguascalientes, México. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9. <https://doi.org/10.3390/app9081706>
- García, J. L., & Martínez, M. J. (2014). Biomasa y biotecnología. *Sociedad Española de Microbiología*, 58, 45–47. <http://hdl.handle.net/10261/137345>
- García, R. (2011). Caracterización y uso de compost de alperujo como enmienda orgánica. Evaluación agronómica y medioambiental. In *Editorial Universitat Politècnica de València*. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/11406>
- Gómez, L. A., Domínguez, A., Jiménez Madrid, D., Ocampo Duran, Á., & Parra, S. (2016). Biochar como enmienda en un oxisol y su efecto en el crecimiento de maíz. In *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. <https://doi.org/10.31910/rudca.v19.n2.2016.88>
- Gómez Marín, N. (2015). Valorización de biomásas residuales mediante el proceso de pirólisis para producción de biochar y biocombustibles. In *Instituto de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Biodiversidad*. <http://hdl.handle.net/10612/5880>
- Gonzaga, D. P., & Basurto, M. P. (2018). Elaboración de un cemento óseo a partir de la hidroxiapatita extraída del hueso de cerdo. In *Universidad de Guayaquil*. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/27912>
- González, K.-D., Daza-Rey, D., Caballero-Amado, P.-A., & Martínez-González, C. (2016). Evaluación de las propiedades físicas y químicas de residuos sólidos orgánicos a emplearse en la elaboración de papel. *Luna Azul*, 43, 499–517. <https://doi.org/10.17151/luaz.2016.43.21>
- Gordillo, J. (2018). “Diseño y simulación de un equipo generador de biocarbón utilizando materia orgánica residual” [Escuela Politécnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19309>
- González, I., Rodríguez, M., Delgado, B., & Schmidt, H. (2020). Biochar y su contribución a la nutrición, crecimiento y defensa de las plantas. *Revista de Protección Vegetal*, 35(2), 1–16. <https://eqrcode.co/a/rAIVdb>
- Guerra, P. (2015). Producción y caracterización de biochar a partir de la biomasa residual de sistemas agroforestales y de agricultura convencional en la Amazonía Peruana. In

*Universidad Nacional Agraria La Molina*. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/1895>

- Herguedas, A., Taranco, C., Rodríguez, E., & Paniagua, P. (2012). Biomasa biocombustibles y sostenibilidad. In *Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario*. <http://sostenible.palencia.uva.es/content/biomasa-biocombustibles-y-sostenibilidad>
- Huaraya, M. Y., Sancho, T. C., & Pari, V. H. (2020). *Estado del arte sobre la producción de biogás mediante la digestión anaerobia como parte del aprovechamiento de la biomasa residual pecuaria* [Universidad Peruana Unión]. <http://hdl.handle.net/20.500.12840/3415>
- Huerta, A. (2019). Influencia del biocarbón elaborado con residuos sólidos orgánicos sobre la calidad y producción del cultivo de la papa en el centro experimental ecológico de Tuyu Ruri, noviembre 2018 a abril 2019. In *Universidad Nacional "Santiago Antunez de Mayolo."* <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4085>
- Hussain, A., Nazir, A., Shafiq, M., Firdaus-E-bareen, & Um-E-laila. (2021). Potential application of biochar composite derived from rice straw and animal bones to improve plant growth. *Sustainability (Switzerland)*, 13(19). <https://doi.org/10.3390/su131911104>
- Iglesias, S. (2018). "Aplicación de biochar a partir de biomasa residual de eucalipto para evaluar la productividad con maíz en el austro ecuatoriano." In *Universidad Nacional Agraria La Molina Escuela*. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3394>
- Iman, I. A. M. (2021). *Potencial energético de la biomasa residual pecuaria en el campus de la UNALM* [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4692>
- Instituto para la diversificación y ahorro de la energía. (2007). *Biomasa: Cultivos energéticos*. BESEL, S.A. (Departamento de Energía). [https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones\\_idae/documentos\\_10737\\_biomasa\\_cultivos\\_energeticos\\_07\\_4bd9c8e7.pdf](https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/documentos_10737_biomasa_cultivos_energeticos_07_4bd9c8e7.pdf)
- Kelpie, W. (2014). How biochar works in soil. *The Biochar Journal*, 32, 25–33. [www.biochar-journal.org/en/ct/32](http://www.biochar-journal.org/en/ct/32), pp 25-33
- Klug, M. (2012). Pirólisis, un proceso para derretir la biomasa. *Revista de Química*, 26, 1–

4. <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/5547>

- Lehmann, J., & Joseph, S. (2009). Biochar for environmental management: science and technology. In *Earthscan in the UK and USA*.  
[http://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/publ/First proof 13-01-09.pdf](http://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/publ/First%20proof%2013-01-09.pdf)
- Lima, T. R., Lima, J. T., Dessimoni, A. L. de A., Pego, M. F. F., Soares, J. R., & Trugilho, P. F. (2017). Caracterização de diferentes biomassas vegetais para produção de biocarvões. *VCerne*, 23(4), 529–536.  
<https://doi.org/10.1590/01047760201723042373>
- Liu, L. (2015). *Desarrollo de nuevos sustratos a base de compost y biochar para la propagación y producción de Rosmarinus officinalis L. en vivero profesional* [Universitat Politècnica de València]. <http://hdl.handle.net/10251/54191>
- Lugo, F. C., Escamilla, J. A., & Ramírez, L. (2009). Modelo teórico para la estimación de la densidad radicular de dos especies leñosas. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10, 263–271. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93912989013>
- Maienza, A., Baronti, S., Vaccari, L. G. F. P., & Miglietta, F. (2016). *Il biochar una soluzione sostenibile per agricoltura ed ambiente* [Università Degli Studi di Torino]. [http://www.agorascienza.it/application/files/9914/9916/8177/SAST\\_A\\_Biochar\\_Maienza.pdf](http://www.agorascienza.it/application/files/9914/9916/8177/SAST_A_Biochar_Maienza.pdf)
- Major, J. (2010). *Uso y manejo de la fertilidad de suelos con biochar*. México Documents. <https://fdocuments.mx/document/uso-y-manejo-de-la-fertilidad-de-suelos-con-p-c-2010-uso-uso-y-manejo-de.html>
- Manrique, J. A., & Sanchez, J. C. (2020). *Revisión bibliográfica de los procesos y metodologías para elaborar biochar a partir de residuos agrícolas y lodos de depura* [Universidad Católica San Pablo]. <http://hdl.handle.net/20.500.12590/16356>
- McLaughlin, H., Anderson, P. S., Shields, F. E., & Reed, T. B. (2009). All biochars are not created equal and how to tell them apart. *North American Biochar*, 2, 1–36.  
<https://www.researchgate.net/publication/312453546>
- Medina, W. A. (2015). Caracterización y diagnóstico ambiental de las actividades pecuarias en el sitio El Milagro del cantón Balsas, provincia de el Oro. In *Universidad de Guayaquil*. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/36610>

- Milesi, L. A., Ullé, J. A., & Andriulo, A. E. (2020). Aplicación de biochar en un suelo degradado bajo producción de batata. Efecto sobre propiedades edáficas. *Ciencia Del Suelo*, 38, 162–173.  
[http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1850-20672020000100014&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672020000100014&lng=es&tlng=es).
- Moran, D., & Naranjo, G. (2013). *Elaboración de abono orgánico como resultado de una adecuada gestión ambiental de los residuos generados en la planta productora y procesadora de aves y cerdos de Avícola Fernández S.A.*  
<http://www.dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/4294>
- Moreno, J. (2017). Producción y caracterización de biochar derivado de sarmiento de viña (vitis vinifera). Estudio preliminar de su aplicación sobre el desarrollo de plantas gramíneas. In *Universidad de Zaragoza*. <https://zaguan.unizar.es/record/64725?ln=es>
- Murillo, Y. S. (2011). *Estudio de adsorción de fenol y 2,4- dinitrofenol desde solución acuosa sobre materiales porosos obtenidos a partir de huesos de bovino, porcino y pollo* [Universidad Nacional de Colombia].  
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9537>
- Netherton, E. A. (2013). *Biochar effects on soil quality as evaluated by physical , chemical and biological parameters* [Universitat Autònoma de Barcelona].  
<http://hdl.handle.net/10803/131325>
- Obregón, G. (2019). Disminución de la salinidad de suelos aplicando biochar a base de biomasa animal y vegetal en Cañete, 2019. In *Universidad César Vallejo*.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/35709>
- Ossa, F. J. (2012). Cultivos energéticos para biocombustibles. *Instituto de Energía*.  
<http://www.imd.uncu.edu.ar/upload/cultivos-energeticos-final.pdf>
- Park, J. H., Yun, J. J., Kang, S. W., Kim, S. H., Cho, J. S., Wang, J. J., & Seo, D. C. (2021). Removal of potentially toxic metal by biochar derived from rendered solid residue with high content of protein and bone tissue. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 208, 111690. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111690>
- Pazmiño, L. D. (2012). Evaluación del fertilizante foliar quimifol en el cultivo de col (brassica oleracea var. capitata) C.V. Gloria. In *Universidad Técnica de Ambato*.  
<http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/5413>

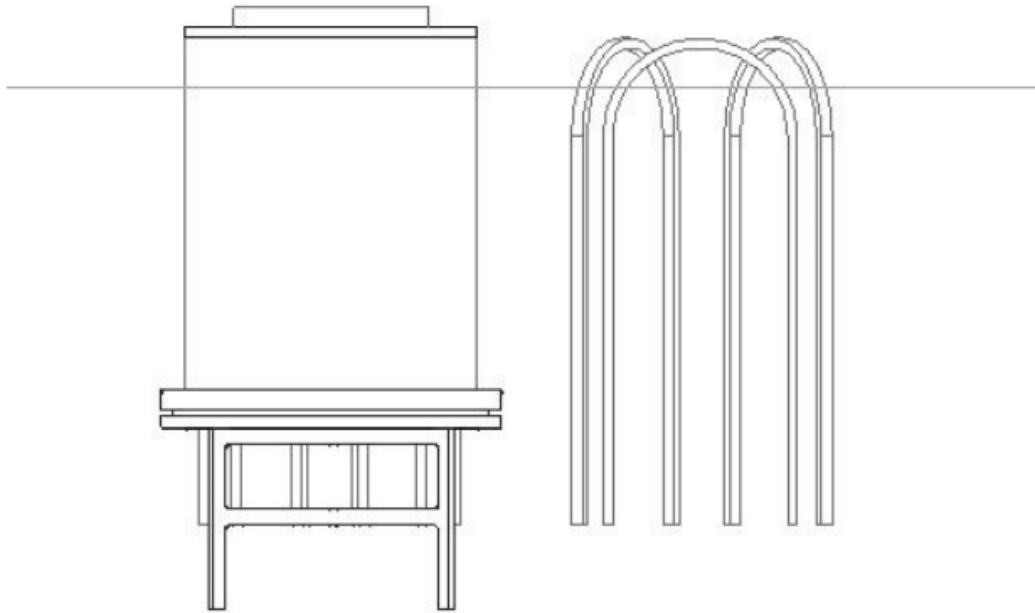
- Ramos, N. F. (2010). *Aprovechamiento del desecho de huesos de res para la obtención de harina de hueso en la fábrica Federer* [Escuela Politécnica Nacional].  
<http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2379>
- Ramos, Y. J. (2019). *Obtención de material cerámico poroso basado en fosfato de calcio usando huesos de cerdo como precursores* [Universidad Tecnológica de la Mixteca].  
[http://jupiter.utm.mx/~tesis\\_dig/14123.pdf](http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/14123.pdf)
- Rodríguez, D., Erazo, J., & Narváez, C. (2019). Técnicas cuantitativas de investigación de mercados aplicadas al consumo de carne en la generación millennial de la ciudad de Cuenca (Ecuador). *Revista Espacios*.  
<http://www.revistaespacios.com/a19v40n32/19403220.html>
- Rosas, J. G. (2015). *Producción de biochar a partir de viñas agotadas mediante pirolisis en reactor a escala piloto y en reactor móvil energéticamente sostenible*. [Universidad de León]. <http://hdl.handle.net/10612/4246>
- Rubio, A. M. (2010). *La densidad aparente en los suelos forestales del Parque Natural Los Alcornocales* [Universidad de Sevilla]. <http://hdl.handle.net/10261/57951>
- Siguencia, C. (2021). *Diseño y construcción de un reactor eléctrico de conversión de biomasa a biochar alimentado a través de energías renovables* [Universidad Católica de Cuenca]. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/7954>
- Suárez, J. (2013). *Eficiencia nutritiva para nitratos en distintas variedades de col china (brassica pekinensis) en semillero*. [Universidad de Almería].  
<http://hdl.handle.net/10835/2644>
- Tapia, J. M. (2014). *Respuestas del uso de abonos orgánicos en el cultivo de col bajo cubierta en la zona de Mocache* [Universidad Técnica Estatal de Quevedo].  
<https://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/4591>
- Torres, G., Ortiz, O., Ubalde, J. M., Sort, X., & Alcañiz, J. M. (2014). *El biocarbón ( biochar ): una forma de secuestrar carbono y de transferir menos contaminantes al subsuelo y acuíferos*. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/262795024%0D>
- Tortosa, G. (2015). *Qué es el biochar*. Compostando Ciencia.  
[http://www.compostandociencia.com/2015/01/que-es-el-biochar/#google\\_vignette](http://www.compostandociencia.com/2015/01/que-es-el-biochar/#google_vignette)
- Trujillo, E. (2017). *Produccion y caracterizacion de biochar a partir de residuos orgánicos*

avícolas [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://docplayer.es/152982010-Universidad-nacional-agraria-la-molina.html>

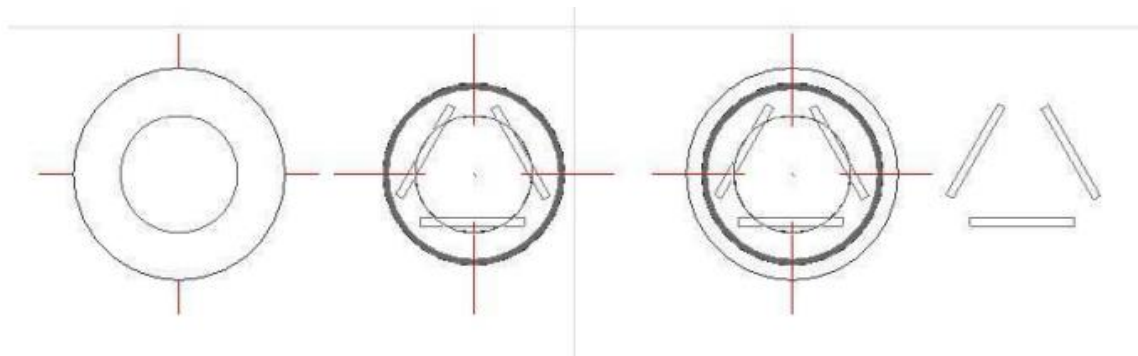
Trujillo, E., Valencia A, C. E., Alegría A, M. C., Césare C., M. F., & Sotelo M, A. H. (2019). Producción y caracterización química de biochar a partir de residuos orgánicos avícolas. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 85(4), 489–504. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v85i4.262>

# ANEXOS

## Anexo 1: Diseño del horno reactor eléctrico



*Vista lateral del horno reactor*



*Vista superior del horno reactor*

Fuente: (Siguencia, 2021)

Anexo 2: Análisis de los componentes del biocarbón



Resultados de Análisis de Laboratorio

No. PSL216-ANALISIS DE COMPONENTES ORGANICOS BIOCHAR

|  |   |
|--|---|
| <b>Fecha toma de muestra:</b><br>26.07.2021 <b>Solicitado por:</b><br>Universidad de Cuenca<br><b>Localidad:</b> Cuenca<br><b>Sustrato:</b> Biochar<br><b>Orden de trabajo:</b> PSL216 | <b>Fecha laboratorio:</b><br>23.08.2021<br><b>Responsable:</b> Sr.<br>Bryan Feijoo<br><b>Localización geográfica:</b> Azuay<br><b>Lote de Producción:</b><br>no reportado <b>Factura No.:</b> |
|--|---|

ANÁLISIS DE COMPONENTES

RESULTADOS

| PARÁMETRO               | UNIDAD              | Biochar Porcino | Biochar Avícola | METODOLOGÍA                                  |
|-------------------------|---------------------|-----------------|-----------------|--|
| pH                      | -                   | 7.3             | 8.2             | AOAC 973,04 Cap. 2 Ed 19 Pág. 19. 53-54 2012 |
| Conductividad Eléctrica | mS cm <sup>-1</sup> | 1,7             | 1.1             | NTC 5596                                     |
| Densidad Aparente       | g ml <sup>-1</sup>  | 0.69            | 0.496           | NTC 1974:2003                                |
| Densidad Real           | g ml <sup>-1</sup>  | 0.89            | 0.90            | Picnometro                                   |
| Materia Orgánica        | %                   | 89.7            | 91.5            | NTC 5403                                     |
| Carbono Orgánico Total  | %                   | 80.9            | 78.9            | Walkley-black (NCT5167)                      |
| Oxígeno                 | %                   | 11.3            | 17.7            | SO 200 Apogee Instruments                    |
| N Total                 | %                   | 3.2             | 2.9             | AOAC 955,04 Cap. 2 Ed 19 Pág. 19. 13-14 2012 |
| C/N                     | -                   | 27.2            | 21.2            | Walkley-black (NCT5167)                      |
| P                       | ppm                 | 92.4            | 85.8            | AOAC 958,01 Cap. 2 Ed 19 Pág. 19. 5-6 2012   |
| K                       | ppm                 | 1260,3          | 2188.6          | AOAC 983,02 Cap. 2 Ed 19 Pág. 19. 24-27 2012 |
| Mg                      | %                   | 1.9             | 1.1             | AOAC 965,09 Cap. 2 Ed 19 Pág. 29. 29-31 2012 |
| Na                      | %                   | 0.82            | 0.72            | AOAC 965,09 Cap. 2 Ed 19 Pág. 19. 29-31 2012 |
| Ca                      | %                   | 15.9            | 8.8             | AOAC 965,09 Cap. 2 Ed 19 Pág. 29. 29-31 2012 |
| Cenizas                 | %                   | 18.5            | 15.7            | AOAC 967,04 Cap. 2 Ed 19 Pág. 19. 54 2012    |
| Materia Volátil         | %                   | 1.7             | 2.2             | Norma Astm D-3173                            |
| Humedad                 | %                   | 1.8             | 1.4             | NTP 311,012 1970                             |

Dr. Carlos Falconi Borja PhD  
 BIONIKA Labs.  
 0999796977-023460158  
 www.bdki.eu

### Anexo 3: Análisis estadístico de la longitud de la raíz

#### Estadística descriptiva

| Tratamientos | n | Media  | Mediana | Min    | Max    | Rango | sd    | cv%   |
|--------------|---|--------|---------|--------|--------|-------|-------|-------|
| B1D1         | 4 | 180,71 | 179,75  | 168,06 | 195,27 | 27,21 | 12,26 | 6,78  |
| B1D2         | 4 | 130,59 | 131,65  | 100,48 | 158,59 | 58,11 | 27,17 | 20,81 |
| B1D3         | 4 | 116,35 | 115,35  | 99,82  | 134,86 | 35,04 | 18,72 | 16,09 |
| B2D1         | 4 | 180,29 | 180,8   | 167,96 | 191,59 | 23,63 | 10,41 | 5,77  |
| B2D2         | 4 | 147,95 | 152,27  | 123,51 | 163,74 | 40,23 | 18,26 | 12,34 |
| B2D3         | 4 | 125,96 | 117,13  | 114,74 | 154,83 | 40,09 | 19,28 | 15,31 |
| Testigo      | 4 | 140,13 | 138,71  | 132,97 | 164,06 | 31,09 | 7,6   | 5,42  |

#### Análisis de varianza ANOVA

|              | Df | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F)       |
|--------------|----|--------|---------|---------|--------------|
| Tratamientos | 6  | 15748  | 2624,6  | 8,707   | 7,88e-05 *** |
| Residuals    | 21 | 6330   | 301,4   |         |              |

#### Prueba Tukey

| Tratamientos | diff     | lwr         | upr        | p adj     |
|--------------|----------|-------------|------------|-----------|
| B1D2-B1D1    | -50,1175 | -90,027263  | -10,207737 | 0,0081633 |
| B1D3-B1D1    | -64,36   | -104,269763 | -24,450237 | 0,0005785 |
| B2D1-B1D1    | -0,42    | -40,329763  | 39,4897629 | 1         |
| B2D2-B1D1    | -32,76   | -72,669763  | 7,1497629  | 0,1557029 |
| B2D3-B1D1    | -54,75   | -94,659763  | -14,840237 | 0,0034652 |
| Testigo-B1D1 | -40,575  | -80,484763  | -0,6652371 | 0,0446648 |
| B1D3-B1D2    | -14,2425 | -54,152263  | 25,6672629 | 0,9011748 |
| B2D1-B1D2    | 49,6975  | 9,787737    | 89,6072629 | 0,0088172 |
| B2D2-B1D2    | 17,3575  | -22,552263  | 57,2672629 | 0,7886575 |
| B2D3-B1D2    | -4,6325  | -44,542263  | 35,2772629 | 0,9997142 |
| Testigo-B1D2 | 9,5425   | -30,367263  | 49,4522629 | 0,9847786 |
| B2D1-B1D3    | 63,94    | 24,030237   | 103,849763 | 0,0006254 |
| B2D2-B1D3    | 31,6     | -8,309763   | 71,5097629 | 0,1841257 |
| B2D3-B1D3    | 9,61     | -30,299763  | 49,5197629 | 0,9842236 |
| Testigo-B1D3 | 23,785   | -16,124763  | 63,6947629 | 0,4795674 |
| B2D2-B2D1    | -32,34   | -72,249763  | 7,5697629  | 0,1655534 |
| B2D3-B2D1    | -54,33   | -94,239763  | -14,420237 | 0,0037466 |
| Testigo-B2D1 | -40,155  | -80,064763  | -0,2452371 | 0,0479683 |
| B2D3-B2D2    | -21,99   | -61,899763  | 17,9197629 | 0,5675675 |
| Testigo-B2D2 | -7,815   | -47,724763  | 32,0947629 | 0,9946509 |
| Testigo-B2D3 | 14,175   | -25,734763  | 54,0847629 | 0,9031143 |

### Anexo 4: Análisis estadístico del peso de la raíz

#### Estadística descriptiva

| Tratamientos | n | Media | Mediana | Min  | Max | Rango | sd   | cv%   |
|--------------|---|-------|---------|------|-----|-------|------|-------|
| B1D1         | 4 | 2,25  | 2,25    | 1,5  | 3   | 1,5   | 0,65 | 28,89 |
| B1D2         | 4 | 0,9   | 0,95    | 0,5  | 1,2 | 0,7   | 0,29 | 32,22 |
| B1D3         | 4 | 0,66  | 0,7     | 0,25 | 1   | 0,75  | 0,35 | 53,03 |
| B2D1         | 4 | 2     | 2,1     | 1,3  | 2,5 | 1,2   | 0,5  | 25,00 |
| B2D2         | 4 | 0,95  | 0,95    | 0,8  | 1,1 | 0,3   | 0,13 | 13,68 |
| B2D3         | 4 | 1     | 0,95    | 0,8  | 1,3 | 0,5   | 0,22 | 22,00 |
| Testigo      | 4 | 1,68  | 1,85    | 1    | 2   | 1     | 0,46 | 27,38 |

#### Análisis de varianza ANOVA

|              | Df | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F)          |
|--------------|----|--------|---------|---------|-----------------|
| Tratamientos | 6  | 9,183  | 1,5305  | 9,251   | 5,14e-05<br>*** |
| Residuals    | 21 | 3,474  | 0,1654  |         |                 |

#### Prueba Tukey

| Tratamientos | diff    | lwr        | upr        | p adj     |
|--------------|---------|------------|------------|-----------|
| B1D2-B1D1    | -1,35   | -2,2849787 | -0,4150213 | 0,0020282 |
| B1D3-B1D1    | -1,5875 | -2,5224787 | -0,6525213 | 0,0003083 |
| B2D1-B1D1    | -0,25   | -1,1849787 | 0,68497868 | 0,9734144 |
| B2D2-B1D1    | -1,3    | -2,2349787 | -0,3650213 | 0,003019  |
| B2D3-B1D1    | -1,25   | -2,1849787 | -0,3150213 | 0,0044889 |
| Testigo-B1D1 | -0,575  | -1,5099787 | 0,35997868 | 0,4437344 |
| B1D3-B1D2    | -0,2375 | -1,1724787 | 0,69747868 | 0,9793573 |
| B2D1-B1D2    | 1,1     | 0,16502132 | 2,03497868 | 0,01453   |
| B2D2-B1D2    | 0,05    | -0,8849787 | 0,98497868 | 0,999997  |
| B2D3-B1D2    | 0,1     | -0,8349787 | 1,03497868 | 0,999822  |
| Testigo-B1D2 | 0,775   | -0,1599787 | 1,70997868 | 0,1485006 |
| B2D1-B1D3    | 1,3375  | 0,40252132 | 2,27247868 | 0,0022404 |
| B2D2-B1D3    | 0,2875  | -0,6474787 | 1,22247868 | 0,9484873 |
| B2D3-B1D3    | 0,3375  | -0,5974787 | 1,27247868 | 0,8963758 |
| Testigo-B1D3 | 1,0125  | 0,07752132 | 1,94747868 | 0,0282711 |
| B2D2-B2D1    | -1,05   | -1,9849787 | -0,1150213 | 0,0213059 |
| B2D3-B2D1    | -1      | -1,9349787 | -0,0650213 | 0,0310374 |
| Testigo-B2D1 | -0,325  | -1,2599787 | 0,60997868 | 0,9115225 |
| B2D3-B2D2    | 0,05    | -0,8849787 | 0,98497868 | 0,999997  |
| Testigo-B2D2 | 0,725   | -0,2099787 | 1,65997868 | 0,2018523 |
| Testigo-B2D3 | 0,675   | -0,2599787 | 1,60997868 | 0,268859  |

## Anexo 5: Análisis estadístico de la altura de la plántula

### Estadística descriptiva

| Tratamientos | n | Media | Mediana | Min   | Max    | Rango | sd   | cv%   |
|--------------|---|-------|---------|-------|--------|-------|------|-------|
| B1D1         | 4 | 99,4  | 100,82  | 94,47 | 101,51 | 7,04  | 3,33 | 3,35  |
| B1D2         | 4 | 85,07 | 86,42   | 77,1  | 90,33  | 13,23 | 6,07 | 7,14  |
| B1D3         | 4 | 77,76 | 75,62   | 68,42 | 91,41  | 22,99 | 9,8  | 12,60 |
| B2D1         | 4 | 98,06 | 98,36   | 90,48 | 105,03 | 14,55 | 6,02 | 6,14  |
| B2D2         | 4 | 88,91 | 91,38   | 77    | 95,91  | 18,91 | 8,96 | 10,08 |
| B2D3         | 4 | 81,23 | 80,64   | 76,56 | 87,06  | 87,06 | 4,34 | 5,34  |
| Testigo      | 4 | 82,47 | 80,98   | 77,84 | 90,07  | 90,07 | 5,28 | 6,40  |

### Análisis de varianza ANOVA

|              | Df | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F)       |
|--------------|----|--------|---------|---------|--------------|
| Tratamientos | 6  | 1681,7 | 280,29  | 6,388   | 0,000606 *** |
| Residuals    | 21 | 921,4  | 43,88   |         |              |

### Prueba Tukey

| Tratamientos | diff     | lwr        | upr       | p adj     |
|--------------|----------|------------|-----------|-----------|
| B1D2-B1D1    | -14,3325 | -29,558809 | 0,893809  | 0,0737698 |
| B1D3-B1D1    | -21,6375 | -36,863809 | -6,411191 | 0,0024037 |
| B2D1-B1D1    | -1,345   | -16,571309 | 13,881309 | 0,9999417 |
| B2D2-B1D1    | -10,4875 | -25,713809 | 4,738809  | 0,3175178 |
| B2D3-B1D1    | -18,175  | -33,401309 | -2,948691 | 0,0128357 |
| Testigo-B1D1 | -16,9325 | -32,158809 | -1,706191 | 0,0230279 |
| B1D3-B1D2    | -7,305   | -22,531309 | 7,921309  | 0,7075994 |
| B2D1-B1D2    | 12,9875  | -2,238809  | 28,213809 | 0,1285782 |
| B2D2-B1D2    | 3,845    | -11,381309 | 19,071309 | 0,9799553 |
| B2D3-B1D2    | -3,8425  | -19,068809 | 11,383809 | 0,9800203 |
| Testigo-B1D2 | -2,6     | -17,826309 | 12,626309 | 0,9974621 |
| B2D1-B1D3    | 20,2925  | 5,066191   | 35,518809 | 0,0046307 |
| B2D2-B1D3    | 11,15    | -4,076309  | 26,376309 | 0,2547945 |
| B2D3-B1D3    | 3,4625   | -11,763809 | 18,688809 | 0,9882313 |
| Testigo-B1D3 | 4,705    | -10,521309 | 19,931309 | 0,9473213 |
| B2D2-B2D1    | -9,1425  | -24,368809 | 6,083809  | 0,4710478 |
| B2D3-B2D1    | -16,83   | -32,056309 | -1,603691 | 0,0241499 |
| Testigo-B2D1 | -15,5875 | -30,813809 | -0,361191 | 0,04257   |
| B2D3-B2D2    | -7,6875  | -22,913809 | 7,538809  | 0,6590432 |
| Testigo-B2D2 | -6,445   | -21,671309 | 8,781309  | 0,8080438 |
| Testigo-B2D3 | 1,2425   | -13,983809 | 16,468809 | 0,9999634 |

## Anexo 6: Análisis estadístico del peso de la plántula

### Estadística descriptiva

| Tratamientos | n | Media | Mediana | Min  | Max | Rango | sd   | cv%   |
|--------------|---|-------|---------|------|-----|-------|------|-------|
| B1D1         | 4 | 4,88  | 4,75    | 4    | 6   | 2     | 0,85 | 17,42 |
| B1D2         | 4 | 1,68  | 1,75    | 1    | 2,2 | 1,2   | 0,54 | 32,14 |
| B1D3         | 4 | 1,16  | 0,95    | 0,75 | 2   | 1,25  | 0,57 | 49,14 |
| B2D1         | 4 | 5,45  | 5,4     | 5    | 6   | 1     | 0,42 | 7,71  |
| B2D2         | 4 | 4,22  | 4,05    | 3,8  | 5   | 1,2   | 0,53 | 12,56 |
| B2D3         | 4 | 2,28  | 2,1     | 1,9  | 3   | 1,1   | 0,5  | 21,93 |
| Testigo      | 4 | 4,58  | 4,65    | 4    | 5   | 1     | 0,43 | 9,39  |

### Análisis de varianza ANOVA

|              | Df | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F)       |
|--------------|----|--------|---------|---------|--------------|
| Tratamientos | 6  | 70,64  | 11,77   | 36,82   | 4,36e-10 *** |
| Residuals    | 21 | 6,71   | 0,32    |         |              |

### Prueba Tukey

| Tratamientos | diff    | lwr       | upr        | p adj     |
|--------------|---------|-----------|------------|-----------|
| B1D2-B1D1    | -3,2    | -4,499769 | -1,900231  | 0,0000015 |
| B1D3-B1D1    | -3,7125 | -5,012269 | -2,412731  | 0,0000001 |
| B2D1-B1D1    | 0,575   | -0,724769 | 1,87476896 | 0,7758156 |
| B2D2-B1D1    | -0,65   | -1,949769 | 0,64976896 | 0,6684248 |
| B2D3-B1D1    | -2,6    | -3,899769 | -1,300231  | 0,0000347 |
| Testigo-B1D1 | -0,3    | -1,599769 | 0,99976896 | 0,9872932 |
| B1D3-B1D2    | -0,5125 | -1,812269 | 0,78726896 | 0,8525895 |
| B2D1-B1D2    | 3,775   | 2,475231  | 5,07476896 | 0,0000001 |
| B2D2-B1D2    | 2,55    | 1,250231  | 3,84976896 | 0,0000456 |
| B2D3-B1D2    | 0,6     | -0,699769 | 1,89976896 | 0,7414499 |
| Testigo-B1D2 | 2,9     | 1,600231  | 4,19976896 | 0,000007  |
| B2D1-B1D3    | 4,2875  | 2,987731  | 5,58726896 | 0         |
| B2D2-B1D3    | 3,0625  | 1,762731  | 4,36226896 | 0,0000031 |
| B2D3-B1D3    | 1,1125  | -0,187269 | 2,41226896 | 0,1262931 |
| Testigo-B1D3 | 3,4125  | 2,112731  | 4,71226896 | 0,0000005 |
| B2D2-B2D1    | -1,225  | -2,524769 | 0,07476896 | 0,0732071 |
| B2D3-B2D1    | -3,175  | -4,474769 | -1,875231  | 0,0000017 |
| Testigo-B2D1 | -0,875  | -2,174769 | 0,42476896 | 0,3422019 |
| B2D3-B2D2    | -1,95   | -3,249769 | -0,650231  | 0,001333  |
| Testigo-B2D2 | 0,35    | -0,949769 | 1,64976896 | 0,9724841 |
| Testigo-B2D3 | 2,3     | 1,000231  | 3,59976896 | 0,0001824 |

## Anexo 7: Análisis estadístico del número de hojas

### Estadística descriptiva

| Tratamientos | n | Media | Mediana | Min | Max | Rango | sd   | cv%   |
|--------------|---|-------|---------|-----|-----|-------|------|-------|
| B1D1         | 4 | 9,75  | 9,5     | 9   | 11  | 2     | 0,96 | 9,85  |
| B1D2         | 4 | 8,5   | 8,5     | 8   | 9   | 1     | 0,58 | 6,82  |
| B1D3         | 4 | 7,25  | 7,5     | 6   | 8   | 2     | 0,96 | 13,24 |
| B2D1         | 4 | 9,25  | 9,5     | 8   | 10  | 2     | 0,96 | 10,38 |
| B2D2         | 4 | 10    | 10      | 9   | 11  | 2     | 0,82 | 8,20  |
| B2D3         | 4 | 8     | 8       | 7   | 9   | 2     | 0,82 | 10,25 |
| Testigo      | 4 | 9     | 9       | 8   | 10  | 2     | 0,82 | 9,11  |

### Análisis de varianza ANOVA

|              | Df | Sum Sq | Mean Sq | F value | Pr(>F)     |
|--------------|----|--------|---------|---------|------------|
| Tratamientos | 6  | 22,86  | 3,81    | 5,246   | 0,00193 ** |
| Residuals    | 21 | 15,25  | 0,726   |         |            |

### Prueba Tukey

| Tratamientos | diff  | lwr        | upr        | p adj     |
|--------------|-------|------------|------------|-----------|
| B1D2-B1D1    | -1,25 | -3,2088369 | 0,70883694 | 0,4017381 |
| B1D3-B1D1    | -2,5  | -4,4588369 | -0,5411631 | 0,0070231 |
| B2D1-B1D1    | -0,5  | -2,4588369 | 1,45883694 | 0,9788521 |
| B2D2-B1D1    | 0,25  | -1,7088369 | 2,20883694 | 0,9995069 |
| B2D3-B1D1    | -1,75 | -3,7088369 | 0,20883694 | 0,1002047 |
| Testigo-B1D1 | -0,75 | -2,7088369 | 1,20883694 | 0,8685365 |
| B1D3-B1D2    | -1,25 | -3,2088369 | 0,70883694 | 0,4017381 |
| B2D1-B1D2    | 0,75  | -1,2088369 | 2,70883694 | 0,8685365 |
| B2D2-B1D2    | 1,5   | -0,4588369 | 3,45883694 | 0,2129142 |
| B2D3-B1D2    | -0,5  | -2,4588369 | 1,45883694 | 0,9788521 |
| Testigo-B1D2 | 0,5   | -1,4588369 | 2,45883694 | 0,9788521 |
| B2D1-B1D3    | 2     | 0,04116306 | 3,95883694 | 0,0433631 |
| B2D2-B1D3    | 2,75  | 0,79116306 | 4,70883694 | 0,002731  |
| B2D3-B1D3    | 0,75  | -1,2088369 | 2,70883694 | 0,8685365 |
| Testigo-B1D3 | 1,75  | -0,2088369 | 3,70883694 | 0,1002047 |
| B2D2-B2D1    | 0,75  | -1,2088369 | 2,70883694 | 0,8685365 |
| B2D3-B2D1    | -1,25 | -3,2088369 | 0,70883694 | 0,4017381 |
| Testigo-B2D1 | -0,25 | -2,2088369 | 1,70883694 | 0,9995069 |
| B2D3-B2D2    | -2    | -3,9588369 | -0,0411631 | 0,0433631 |
| Testigo-B2D2 | -1    | -2,9588369 | 0,95883694 | 0,6479836 |
| Testigo-B2D3 | 1     | -0,9588369 | 2,95883694 | 0,6479836 |

## AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, **Juan Carlos Torres Torres** portador de la cédula de ciudadanía N.º 0150595478. En calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Pirólisis de huesos avícolas y porcinos y su incidencia a nivel de semillero en las plantas de col”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, **12 de abril de 2022**

F:  .....

Juan Carlos Torres Torres

0150595478