



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

**MEDICIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO
GENERADOS EN LA DEGRADACIÓN DE RESIDUOS
VEGETALES CON APLICACIÓN DE
MICROORGANISMOS BENÉFICOS Y BIOCHAR.**

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

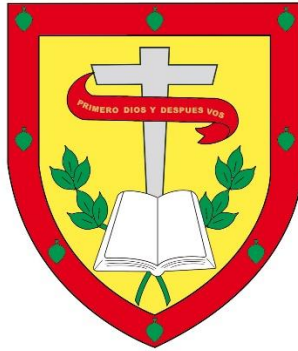
AUTOR: PAUL GEOVANNY VASQUEZ LANDI

DIRECTOR: ING. JUAN CARLOS COBOS TORRES, Ph.D.

CUENCA - ECUADOR

2023

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

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

MEDICIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO GENERADOS EN
LA DEGRADACIÓN DE RESIDUOS VEGETALES CON APLICACIÓN
DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS Y BIOCHAR.

AUTOR: PAUL GEOVANNY VASQUEZ LANDI

DIRECTOR: ING. JUAN CARLOS COBOS TORRES, Ph.D.

CUENCA - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Paul Geovanny Vasquez Landi portador de la cédula de ciudadanía N° 0106288822. Declaro ser el autor de la obra: "Medición de gases de efecto invernadero generados en la degradación de residuos vegetales con aplicación de microorganismos benéficos y biochar", 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, 18 de julio de 2023



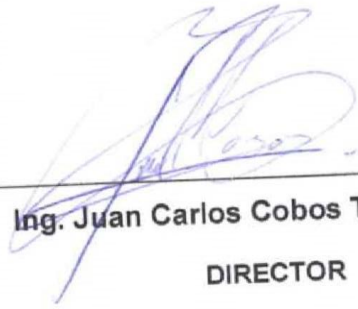
F:

Paul Geovanny Vasquez Landi

0106288822

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Paul Geovanny Vasquez Landi, bajo mi supervisión.



Ing. Juan Carlos Cobos Torres, Ph.D.

DIRECTOR

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi abuelita María Teresa Bonilla, quien fue mi inspiración para alcanzar esta meta. Sé que desde el cielo está muy orgullosa de mí. También quiero agradecer a mis padres, Carmita Landi y Mauricio Vásquez, quienes desempeñaron un papel vital en mi avance y conclusión de mi carrera universitaria.

AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento, a Dios, por brindarme la fuerza y la guía durante todo mi proceso académico. Asimismo, quiero agradecer a mis queridos padres por su apoyo moral y económico incondicional a lo largo de mi formación académica.

A mi tutor de tesis, el Ing. Juan Carlos Cobos Torres, Ph.D., le agradezco sinceramente por su apoyo moral y por compartir sus amplios conocimientos conmigo. Además, agradezco su aliento en los momentos más difíciles, animándome a seguir adelante con mi proyecto de titulación.

También quiero expresar mis más sinceros agradecimientos al Biólogo Vinicio Santillán, quien brindó su apoyo y conocimientos para orientar mi proyecto.

Quiero expresar mi profundo agradecimiento al Ing. Manuel Salvador Alvarez Vera, PhD, quien fue cotutor de mi trabajo de titulación. Por su continua motivación y orientación durante todo el proceso. Más allá de ser solo un profesor, se ha convertido en un amigo de carrera. Valoraré eternamente su apoyo incondicional.

RESUMEN

La siguiente investigación tuvo como finalidad medir los gases de efecto invernadero (GEI) en la degradación de residuos vegetales provenientes del Mercado Municipal 12 de abril, con diferentes adiciones de MOB y Biochar a través de mediciones con sensores electroquímicos determinando el tratamiento que reduzca dichas emisiones. Posteriormente, se ejecutó la preparación del biochar a base de eucalipto, reproducción de microorganismos benéficos, recolección de residuos vegetales, aplicación de tratamientos y toma de datos. Estableciendo un estudio experimental de 4 biorreactores, los cuales contenían sensores para medir CO₂, CH₄, NH₃, temperatura y humedad por un periodo de 42 días. Los tratamientos establecidos fueron los siguientes: T1=Residuos orgánicos + microorganismos benéficos, T2= Residuos orgánicos +microorganismos + biochar, T3= biochar y T4= Residuos orgánicos (testigo). Verificando que el tratamiento T1, obtuvo mejores niveles de disminución de los gases de efecto invernadero GEI, donde el metano CH₄ tuvo niveles de 5 ppm y de misma manera ocurrió para el amonio NH₃ con niveles de 0,2 ppm. Con respecto al biochar se evidencio mejores resultados en el metano CH₄ con niveles de 1,2 ppm La aplicación de microorganismos beneficios y biochar, sus efectos son positivos en el metano presenta niveles de 15 ppm, dióxido de carbono 200 ppm y amoníaco 0,1 ppm.

Palabras clave: Dióxido de carbono, metano, amoníaco, humedad, temperatura

ABSTRACT

This research aimed to measure greenhouse gases (GHG) in vegetable waste management from the Mercado Municipal 12 de Abril, with different additions of MOBs and Biochar by electrochemical sensors, determining the treatment to reduce these emissions. Subsequently, the preparation of eucalyptus-based biochar, reproduction of beneficial microorganisms, collection of plant residues, application of treatments, and data gathering were carried out. An experimental study of 4 bioreactors was established, containing sensors to measure CO₂, CH₄, NH₃, temperature, and humidity for 42 days. The treatments provided were: T1=Organic waste + beneficial microorganisms, T2= Organic waste +microorganisms + biochar, T3= biochar, and T4= Organic waste (control). Validating that the T1 treatment had better levels of GHG reduction, where methane CH₄ got levels of 5 ppm; the same occurs with ammonium NH₃ with levels of 0.2 ppm. Concerning biochar, the best results were for methane CH₄ with levels of 1.2 ppm. Using beneficial microorganisms and biochar positively effects methane levels of 15 ppm, carbon dioxide at 200 ppm, and ammonia at 0.1 ppm.

Keywords: carbon dioxide, methane, ammonia, humidity, temperature

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA _____	II
AGRADECIMIENTOS _____	III
RESUMEN _____	IV
ABSTRACT _____	V
ÍNDICE DE CONTENIDOS _____	VI
LISTA DE FIGURAS _____	IX
LISTA DE TABLAS _____	XI
LISTA DE ANEXOS _____	XII
CAPÍTULO I _____	- 1 -
1. INTRODUCCIÓN _____	- 1 -
1.1 OBJETIVOS. _____	- 3 -
1.1.1 OBJETIVO GENERAL. _____	- 3 -
1.1.2 <i>Objetivos Específicos.</i> _____	- 3 -
CAPÍTULO II _____	- 4 -
2. REVISIÓN DE LITERATURA _____	- 4 -
2.1 CAMBIO CLIMÁTICO. _____	- 4 -
2.1.1 <i>Definición.</i> _____	- 4 -
2.2 EFECTO INVERNADERO. _____	- 4 -
2.2.1 <i>Gases de efecto invernadero GEI.</i> _____	- 5 -
2.2.2 <i>Medición de los gases de efecto invernadero GEI.</i> _____	- 9 -
2.3 DEGRADACIÓN DEL SUELO. _____	- 10 -
2.3.1 <i>Descomposición de la materia orgánica.</i> _____	- 10 -
2.3.2 <i>Cambios durante la descomposición de la materia orgánica.</i> _____	- 11 -
2.3.3 <i>Organismos descomponedores.</i> _____	- 11 -
2.4 GENERACIÓN DE RESIDUOS. _____	- 12 -
2.4.1 <i>Generación de residuos sólidos en mercados de la ciudad de Cuenca.</i> _____	- 13 -
2.4.2 <i>Residuos vegetales.</i> _____	- 13 -
2.4.3 <i>Descomposición de la materia orgánica.</i> _____	- 13 -
2.5 DIGESTATO. _____	- 14 -
2.5.1 <i>Tipos.</i> _____	- 14 -
2.5.2 <i>Proceso de funcionamiento del digestato.</i> _____	- 14 -
2.6 MICROORGANISMOS BENÉFICOS (MOBs). _____	- 14 -
2.6.1 <i>Tipos de microorganismos benéficos.</i> _____	- 15 -
2.6.2 <i>Funciones de los microorganismos benéficos.</i> _____	- 16 -
2.6.3 <i>Uso de microorganismos benéficos para relleno sanitario.</i> _____	- 17 -
2.7 BIOCHAR. _____	- 18 -
2.7.1 <i>Definición.</i> _____	- 18 -
2.7.2 <i>Características físicas y químicas.</i> _____	- 19 -
2.7.3 <i>Proceso de obtención del biochar.</i> _____	- 20 -
2.7.4 <i>Efectos ecológicos de la aplicación del biochar.</i> _____	- 22 -
2.8 MARCO LEGAL. _____	- 23 -
2.8.1 <i>Escenario internacional.</i> _____	- 23 -
2.8.2 <i>Escenario nacional.</i> _____	- 24 -
2.8.3 <i>Constitución del Ecuador.</i> _____	- 24 -
2.8.4 <i>Estrategia Nacional de Cambio Climático.</i> _____	- 24 -

CAPÍTULO III	- 26 -
3. MATERIALES Y MÉTODOS	- 26 -
3.1 ZONA DE ESTUDIO.	- 26 -
3.2 TRATAMIENTOS Y DISEÑO DE BIORREACTORES.	- 27 -
3.2.1 <i>Tratamientos.</i>	- 27 -
3.2.2 <i>Diseño de biorreactores.</i>	- 29 -
3.3 DISEÑO DE SENSORES.	- 30 -
3.4 MATERIALES.	- 31 -
3.4.1 <i>Materiales para la recolección de los residuos vegetales.</i>	- 31 -
3.4.2 <i>Materiales para el proceso de trituración de los residuos vegetales.</i>	- 31 -
3.4.3 <i>Materiales para la preparación de los contenedores.</i>	- 31 -
3.4.4 <i>Materiales para la preparación de sensores.</i>	- 31 -
3.4.5 <i>Materiales para laboratorio.</i>	- 31 -
3.5 ELABORACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL BIOCHAR.	- 32 -
3.5.1 <i>Reactor eléctrico.</i>	- 32 -
3.5.2 <i>Proceso de producción de biochar.</i>	- 33 -
3.5.3 <i>Preparación del biochar para el análisis de laboratorio.</i>	- 34 -
3.5.4 <i>Análisis de las características fisicoquímicas del biochar.</i>	- 34 -
3.6 OBTENCIÓN E INMOVILIZACIÓN DE LOS MICROORGANISMOS BENÉFICOS.	- 35 -
3.6.1 <i>Obtención de los MOBs.</i>	- 35 -
3.6.2 <i>Inmovilización de microorganismos benéficos.</i>	- 35 -
3.7 PROCESO DE PREPARACIÓN DE LOS RESIDUOS VEGETALES.	- 36 -
3.7.1 <i>Recolección de residuos sólidos.</i>	- 36 -
3.7.2 <i>Descarga y proceso de triturado de los residuos vegetales.</i>	- 37 -
3.8 APLICACIÓN DE TRATAMIENTOS.	- 38 -
<i>Después, se llevó a cabo la medición de las distintas masas utilizando una balanza electrónica, las cuales se utilizarán en los distintos procedimientos de tratamientos.</i>	- 38 -
3.9 RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.	- 39 -
3.10 MEDICIÓN TOTAL DE LIXIVIADOS Y VOLUMEN DE MASA DE LOS TRATAMIENTOS.	- 39 -
CAPÍTULO IV	- 40 -
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	- 40 -
4.1 OBTENCIÓN DE BIOCHAR DE EUCALIPTO (<i>EUCALYPTUS GLOBULUS</i>).	- 40 -
4.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL BIOCHAR DE EUCALIPTO.	- 41 -
4.3 DETERMINACIÓN TOTAL DE LIXIVIADOS Y MASAS DE CADA BIORREACTOR.	- 42 -
4.3.1 <i>Determinación de masa.</i>	- 42 -
4.3.2 <i>Determinación del volumen de lixiviados.</i>	- 42 -
4.4 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE CADA TRATAMIENTO.	- 43 -
4.4.1 <i>Temperatura.</i>	- 43 -
a. <i>Distribución de datos de la temperatura.</i>	- 43 -
4.4.2 <i>Humedad.</i>	- 43 -
4.4.3 <i>Dióxido de Carbono CO₂.</i>	- 44 -
4.4.4 <i>Metano CH₄.</i>	- 45 -
4.4.5 <i>Amoniaco NH₃.</i>	- 46 -
4.5 MEDICIONES MEDIANTE GRÁFICAS DE FLUCTUACIONES.	- 47 -
4.5.1 <i>Temperatura.</i>	- 47 -
4.5.2 <i>Humedad.</i>	- 48 -
4.5.3 <i>Dióxido de carbono.</i>	- 49 -
4.5.4 <i>Metano.</i>	- 50 -
4.5.5 <i>Amoniaco.</i>	- 51 -
4.6 COMPARACIÓN ENTRE TRATAMIENTOS MEDIANTE DIAGRAMA DE BARRAS.	- 52 -

4.6.1 Dióxido de carbono.	- 52 -
4.6.2 Metano.	- 53 -
4.6.3 Amoníaco.	- 54 -
4.7 DIAGRAMA DE CAJAS DE LOS CUATRO TRATAMIENTOS.	- 55 -
4.7.1 Diagrama de cajas de temperatura.	- 55 -
4.7.2 Diagrama de cajas de la humedad.	- 56 -
4.7.3 Diagrama de cajas del dióxido de carbono CO ₂ .	- 56 -
4.7.4 Diagrama de cajas del metano CH ₄ .	- 57 -
4.7.5 Diagrama de cajas del amoníaco NH ₃ .	- 58 -
CAPÍTULO V	- 60 -
5. CONCLUSIONES	- 60 -
CAPÍTULO VI	- 61 -
6. RECOMENDACIONES	- 61 -
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	- 62 -
ANEXOS	- 68 -

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 global de CO ₂ , 2019 hasta 2023 (actualizado abril 2023)	- 6 -
Figura 2 global de CH ₄ , 2018 hasta 2022 (actualizado diciembre 2022)	- 7 -
Figura 3: Concentración global de N ₂ O, 2018 hasta 2022 (actualizado diciembre 2022)	- 8 -
Figura 4: Concentración global de SF ₆ , 2018 hasta 2022 (actualizado diciembre 2022)	- 9 -
Figura 5: Proceso de descomposición de residuos orgánicos	- 10 -
Figura 6: Presencia de distintos residuos orgánicos	- 12 -
Figura 7: Presencia de distintos residuos orgánicos	- 13 -
Figura 8: Diversidad de vida en un suelo con presencia de MOBs	- 17 -
Figura 9: Aplicación de MOBs sobre la basura	- 18 -
Figura 10: Muestras de biochar	- 18 -
Figura 11: Residuos de eucalipto (<i>Eucalytus globulus</i>)	- 20 -
Figura 12: Procedimiento de obtención de biochar (pirólisis)	- 21 -
Figura 13: Influencia del biochar en la fijación de carbono en los suelos	- 22 -
Figura 14: Ubicación del mercado 12 de abril de la ciudad de Cuenca.	- 26 -
Figura 15: Sitio de la estancia Luis Cordero "El Grande".	- 27 -
Figura 16: Diseño del biorreactor	- 29 -
Figura 17: Llave para liberación de lixiviados	- 29 -
Figura 18: a) Sistema de armado de los sensores	- 30 -
Figura 19: Esquema de conexiones de los sensores	- 30 -
Figura 20: Reactor ensamblado	- 32 -
Figura 21: Dimensiones del reactor eléctrico	- 32 -
Figura 22: Fotografías del sistema de conversión a biomasa	- 33 -
Figura 23: a) Biomasa transformada en biochar	- 34 -
Figura 24: Verificación de la masa con la prueba de puño	- 36 -
Figura 25: Proceso de secado	- 36 -
Figura 26: Recolección de los residuos vegetales en sacos de yute	- 37 -
Figura 27: Proceso de selección de los residuos	- 37 -
Figura 28: a) Proceso de trituración de los residuos vegetales	- 38 -
Figura 29: Malla plástica en el interior del contenedor	- 38 -
Figura 30: de temperatura de los tratamientos	- 43 -
Figura 31: Histograma de humedad de los tratamientos	- 44 -
Figura 32: Histograma de CO ₂ de los tratamientos.	- 45 -
Figura 33: Histograma de CH ₄ de los tratamientos.	- 46 -
Figura 34: Histograma de NH ₃ de los tratamientos.	- 47 -
Figura 35: Fluctuaciones en la temperatura. Las líneas de distintos colores representan la media de cada tratamiento	- 47 -
Figura 36: Fluctuaciones en la humedad. Las líneas de distintos colores representan la media de cada tratamiento	- 48 -
Figura 37: Fluctuaciones en el dióxido de carbono CO ₂ . Las líneas de distintos colores representan la media de cada tratamiento.	- 49 -
Figura 38: Fluctuaciones en el metano CH ₄ . Las líneas de distintos colores representan la media de cada tratamiento.	- 50 -
Figura 39: Fluctuaciones en el amoníaco NH ₃ . Las líneas de distintos colores representan la media de cada tratamiento	- 51 -
Figura 40: Niveles de dióxido de carbono	- 52 -
Figura 41: Niveles de metano.	- 53 -
Figura 42: Niveles de amoníaco, presentes en las cuatro cajas	- 54 -
Figura 43: Diagrama de caja de la temperatura en los cuatro tratamientos	- 55 -
Figura 44: Diagrama de cajas de la humedad de los cuatro tratamientos.	- 56 -
Figura 45: Diagrama de cajas del dióxido de carbono en los cuatro tratamientos	- 57 -
Figura 46: Diagrama de cajas del metano en los cuatro tratamientos	- 58 -

Figura 47: Diagrama de cajas del amonio de los cuatro tratamientos	- 58 -
Figura 48: Tratamientos listos para empezar con el proceso de pesaje	- 68 -
Figura 49: Total de lixiviados de los cuatro tratamientos empleados	- 68 -
Figura 50: Medicion de lixiviados en probetas de 1000 ml	- 69 -
Figura 51: Proceso de pesaje de la masa en la balanza electrónica	- 69 -

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades químicas del biochar _____	- 19 -
Tabla 2. Detalles de los tratamientos aplicados _____	- 27 -
Tabla 3. Descripción de las diferentes dosis aplicadas para los tratamientos _____	- 28 -
Tabla 4. Niveles de porcentajes aplicados en los tratamientos. _____	- 28 -
Tabla 5. Características principales de los sensores electroquímicos _____	- 31 -
Tabla 6. Metodologías usadas para la determinación de las características fisicoquímicas _____	- 34 -
Tabla 7. Composición microbiana presente en los MOBs, en unidades formadoras de colonias por mililitro de solución. _____	- 35 -
Tabla 8. Resultados obtenidos en la elaboración de biochar _____	- 40 -
Tabla 9. Resultado fisicoquímico del biochar _____	- 41 -
Tabla 10. Valores iniciales y finales masa _____	- 42 -
Tabla 11. Volumen final de lixiviados por cada tratamiento. _____	- 43 -

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1: <i>Proceso de pesaje de la masa y volumen de los tratamientos</i> _____	- 68 -
Anexo 2: <i>Analisis de laboratorio de la muestra de biochar</i> _____	- 70 -

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

Durante las últimas dos décadas, se ha evidenciado un aumento en la problemática ambiental que representan los residuos sólidos orgánicos a nivel mundial. Estos desechos son generados diariamente en diferentes procesos (Galvis, 2016). Y si no son tratados adecuadamente antes de su disposición final, se puede generar un impacto nocivo con el ambiente.

En particular, los residuos vegetales son importantes productores de residuos sólidos orgánicos. Según la EMAC-EP, recolecta de los mercados **309300 t.** de material orgánico (EMAC-EP, 2019). Si estos no se disponen correctamente y se depositan en lugares inapropiados, los microorganismos encargados de su descomposición y los factores climáticos pueden provocar la liberación de distintos gases a la atmósfera durante su proceso de descomposición. Estos gases pueden afectar la calidad del medio ambiente. Por tanto, es sustancial realizar prácticas adecuadas de gestión de residuos sólidos orgánicos para reducir su impacto ambiental negativo.

Además, los desechos orgánicos, tales como los restos de comida y de actividades de jardinería, representan una de las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Durante su descomposición en vertederos, los residuos orgánicos producen metano CH₄, un gas de efecto invernadero mucho más contaminante que el dióxido de carbono CO₂. Estas emisiones contribuyen significativamente al cambio climático y son una de las mayores preocupaciones medioambientales a nivel general.

En Ecuador en el año 2016, se recolectó un promedio de **1298798 t** de desechos sólidos por día. El 90,26% de los desechos fueron recogidos sin clasificar, mientras que solo el 9,74% fue recolectado de forma clasificada o separada por tipo de residuo (Coronel & Vargas, 2020).

De los 221 GAD municipales del país, en 161 de ellos se llevó a cabo la caracterización de los residuos sólidos producidos en el área urbana. Como resultado, se encontró que el 58 % de los residuos fueron orgánicos, mientras que el 42 % fueron inorgánicos (Coronel & Vargas, 2020).

A pesar de las alternativas disponibles, aún existe una gran cantidad de residuos sólidos orgánicos que no reciben un tratamiento adecuado, lo que contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero (GEI). Es necesario implementar políticas y estrategias para fomentar la gestión adecuada de los residuos sólidos orgánicos y reducir así su efecto en el medio ambiente y en el cambio climático a nivel global.

El objetivo del presente proyecto, se enfocó en medir los gases de efecto invernadero en la degradación de los restos orgánicos que se forman mediante la aplicación de 4 tratamientos: la aplicación de microorganismos, biochar, microorganismos + biochar y solo los residuos como testigo, a fin de medir los GEI que se producen por la degradación de los residuos, esto se realizó en un periodo de 45 días, en la cual se aplicaron diferentes cantidades a cada tratamiento más los

residuos, determinando el tratamiento adecuado para la reducción de gases de efecto invernadero GEI.

La aplicación de 4 tratamientos permitió tener una visión sobre que tratamiento produjo bajas concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI), siendo esta una alternativa viable para tratar a los residuos vegetales en el transcurso de la degradación, con la intención de presentar una técnica del tratamiento que admita reducir el impacto ambiental.

1.1 Objetivos.

1.1.1 Objetivo General.

Medir los gases de efecto invernadero (GEI) en la degradación de residuos vegetales provenientes del Mercado Municipal 12 de abril con diferentes adiciones de microorganismos benéficos y biochar a través de mediciones con sensores electroquímicos determinando el tratamiento que reduzca dichas emisiones.

1.1.2 Objetivos Específicos.

- Fortalecer los conocimientos, procesos y conceptos sobre la degradación de residuos vegetales con la aplicación de microorganismos benéficos y biochar mediante gestores documentales para obtener información actualizada y de calidad.

- Medir los GEI que se producen en la degradación de residuos vegetales con la aplicación de tres tratamientos (MOBs, biochar y MOBs +Biochar y los residuos vegetales sin tratamiento como testigo, obteniendo datos sobre la generación de gases de efecto invernadero (GEI).

- Analizar los resultados obtenidos por el sistema de monitoreo, mediante herramientas estadísticas identificando al tratamiento que produce menos emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Cambio climático.

2.1.1 Definición.

Este proceso es causado por las características intrínsecas de los sistemas socioeconómicos y las fuerzas motrices que impulsan, las cuales en conjunto establecen los valores de emisión de gases naturales y artificiales a la atmósfera como resultado del desarrollo. Estos gases tienen la capacidad de calentar la atmósfera más allá de lo que se espera del efecto invernadero (Díaz, 2012). El cambio climático se produce principalmente debido al aumento en la presencia de los gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, tales como el CO₂, CH₄ y N₂O (Useros, 2013).

Según el cuarto informe del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2019), se prevé que los impactos del cambio climático sean especialmente notables tanto en áreas urbanas como rurales. Estos efectos se atribuyen principalmente a la actividad humana, dado que las emisiones de gases de efecto invernadero han provocado un aumento de la temperatura que supera los registros de los últimos 10,000 años. Además, la presión ejercida por los seres humanos sobre los recursos naturales también ha contribuido a este cambio. Los últimos 50 años, las diferentes actividades humanas han alterado los hábitats a un ritmo y alcance sin precedentes (Fernández, 2016).

Se han observado impactos significativos del cambio climático en distintas áreas, particularmente en la alteración de los flujos de agua y la disponibilidad de este recurso, el retroceso de los glaciares y sus consecuencias para la salud humana. Según el IPCC, los efectos más comunes del cambio climático en la calidad de vida de las personas incluyen cambios en la distribución geográfica de enfermedades infecciosas y la aparición de enfermedades crónicas relacionadas con la calidad del aire y las reservas de agua. Estos efectos resaltan la importancia de tomar medidas para combatir contra el cambio climático y salvaguardar la salud y medio ambiente (Banguera, 2021).

2.2 Efecto invernadero.

Se basa en un fenómeno natural en la atmósfera de la Tierra, en el cual ciertos gases tienen la capacidad de absorber y emitir radiación infrarroja. Estos gases actúan como una especie de "techo invisible" al atrapar parte del calor generado por la radiación solar, evitando que escape al espacio exterior. Esto contribuye a conservar la temperatura del planeta y cumplir con los límites habitables (Figura 1) (Andalucía, 2010).

Sin embargo, debido a la actividad humana, se ha producido un aumento en la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Este fenómeno puede resultar en un incremento de la temperatura global y en alteraciones del clima que podrían tener consecuencias graves para la vida en nuestro planeta (Martínez & Fernández, 2004).

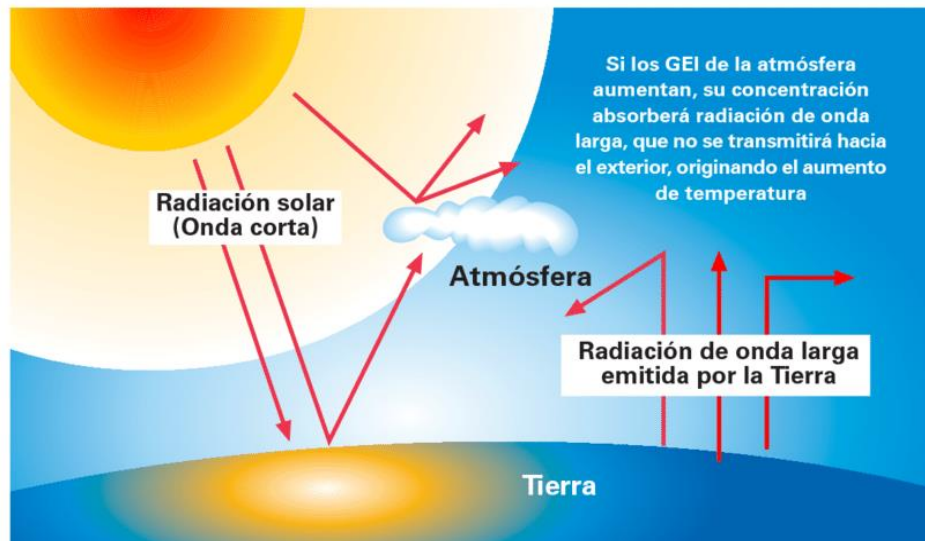


Figura 1: Esquema del efecto invernadero

Fuente: (Gallardo & Merino, 2007)

Debido a las variaciones en la estructura de la atmósfera que se han relacionado tanto directa como indirectamente con la actividad humana, la cantidad de energía que la Tierra emite al espacio es menor que antes de que comenzara esta alteración. Como resultado, la temperatura promedio de la capa cercana a la superficie terrestre está creciendo en comparación con su valor original (Poulain, 2006).

2.2.1 Gases de efecto invernadero GEI.

La temperatura del planeta Tierra está determinada por el equilibrio entre el conjunto de energía que entra y la cantidad de energía que sale del sistema atmosférico. En otras palabras, la temperatura terrestre depende de la porción de la energía que es aspirada por el planeta y la cantidad de energía que es reflejada y emitida al espacio.

Los GEI, como: vapor de agua, dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y dióxido de nitrógeno (NO_2), tienen la capacidad de absorber energía y, de esta manera, evitan la pérdida de calor del planeta hacia el espacio. Estos gases actúan como una especie de barrera al retrasar o prevenir la disipación de calor, lo que genera el incremento de la temperatura (Hernández, 2020).

Banguera (2021), señala que los GEI principalmente monitoreados por entidades internacionales como: Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA), son cuatro entre ellos: CO_2 , CH_4 , N_2O y SF_6 .

- Emisiones de dióxido de carbono (CO_2).

No se considera naturalmente como un contaminante, ya que es un mecanismo esencial de la atmósfera y necesario para el crecimiento de la flora, su aumento como resultado de la combustión de combustibles fósiles lo convierte en el principal contribuyente al calentamiento global. Esto se

debe a que, el gas tiene la capacidad de absorber la fosforescencia infrarroja (Espíndola & Valderrama, 2011).

Las concentraciones a nivel mundial de CO₂, han llegado a las 420 ppm según la última actualización de julio del 2021, en base a los datos del Observatorio de Mauna Loa (MLO) y del Instituto Scripps de Oceanografía de la Universidad de California en San Diego. El nivel actual es el más elevado registrado en 63 años, desde que se empezaron a realizar mediciones precisas (Figura 2) (MLO, 2022).

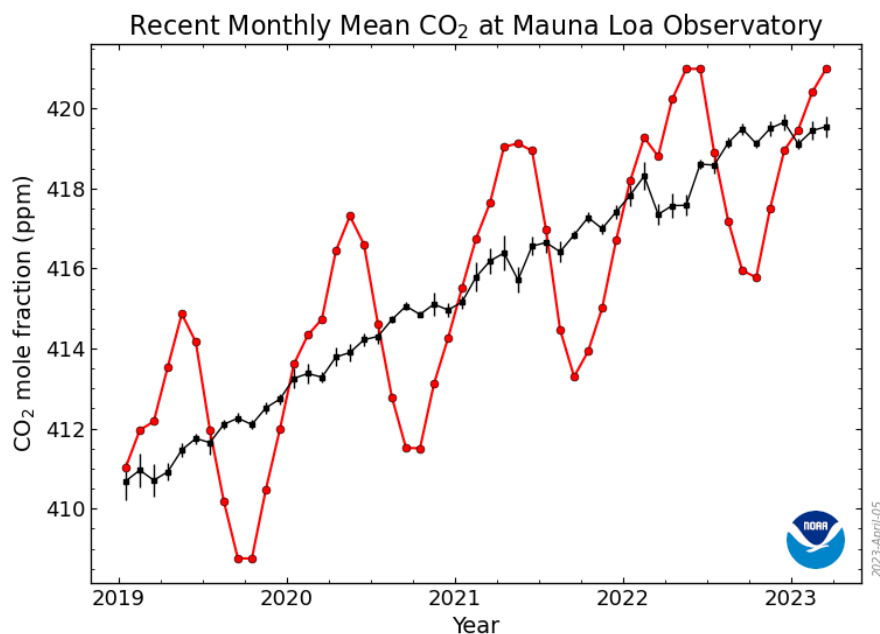


Figura 1 global de CO₂, 2019 hasta 2023 (actualizado abril 2023)

Fuente: (MLO, 2022)

- Emisiones de metano (CH₄).

Este gas se produce naturalmente en ambientes sin oxígeno y su persistencia en la atmósfera tiene 10 años aproximadamente, tras lo cual puede convertirse en radicales OH por oxidación. Es consumido en conjunto con todos los hidrocarburos que se usan como combustibles, y también está presente en la ganadería y la agricultura, siendo el elemento predominante del gas natural (Figura 3) (Espíndola & Valderrama, 2011).

La actividad agrícola es responsable de alrededor del 5 -19 % de las emisiones de metano causadas por las acciones humanas. Estas emisiones se derivan principalmente de factores como: los cultivos de arroz, la quema de residuos agrícolas, el manejo del estiércol y los gases emitidos por el ganado bovino y ovino (Sanchis, 2014).

Según Carmona et al., (2005), mencionan que en los bovinos la producción de metano generalmente representa entre el 5,5% y el 6,5% de la energía total consumida en su dieta. Sin embargo, en condiciones de pastoreo en zonas templadas, se han reportado valores que oscilan entre el 2% y el 12%. Cuando se alimentan con forrajes de baja calidad nutritiva, la producción de metano puede llegar a representar entre el 15% y el 18% de la energía digestible. Se ha sugerido que corregir estas deficiencias nutricionales podría reducir estos valores hasta un 7% (20).

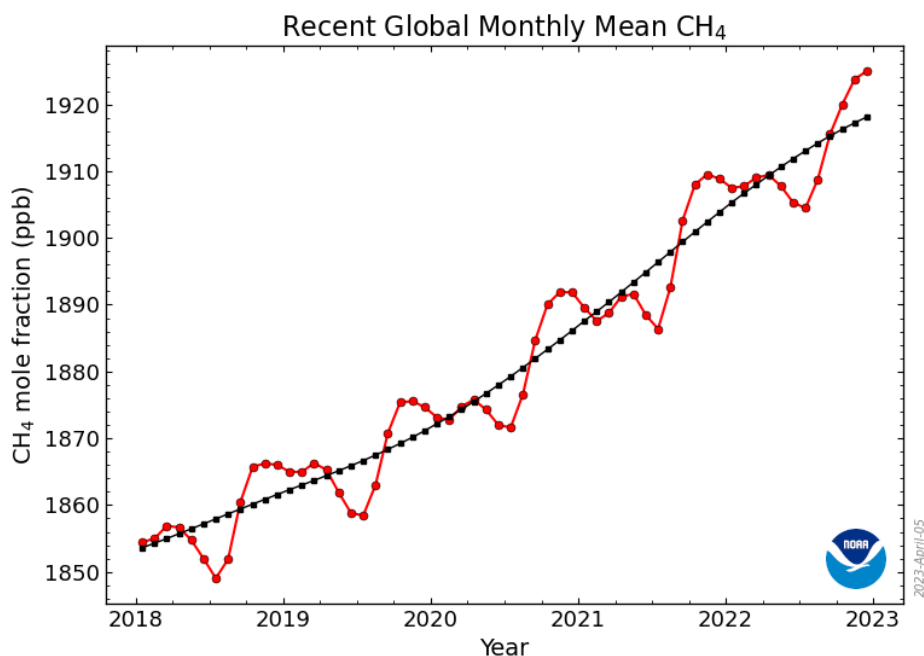


Figura 2 global de CH₄, 2018 hasta 2022 (actualizado diciembre 2022)

Fuente: (MLO, 2022)

El metano es responsable de aproximadamente del 16% del forzamiento radiactivo generado por los GEI de larga persistencia. Alrededor del 40% de la emisión de este gas a la atmósfera proviene de fuentes, el 60% restante es generado por acciones humanas, como: ganadería, la siembra de arroz, explotación de combustibles fósiles, los vertederos y la combustión de biomasa.

- Emisiones de óxido nitroso (N₂O).

Gas que tiene una capacidad de calentamiento global 300 veces mayor que el dióxido de carbono CO₂. Se libera en la atmósfera debido al uso de abonos agrícolas ricos en nitrógeno, en algunas industrias y en la combustión de combustibles en motores de combustión interna

En el año 2020, el promedio global de la concentración de óxido nitroso en la atmósfera consiguió 333,2 partes por millón (ppm), representando un aumento de 1,2 ppm en comparación con 2019. El aumento anual de la concentración de óxido nitroso entre 2019 y 2020 fue mayor que el observado entre 2018 y 2019, y además fue mayor que la tasa de aumento promedio de los últimos diez años (0,99 ppm por año) (Figura 4) (MLO, 2022).

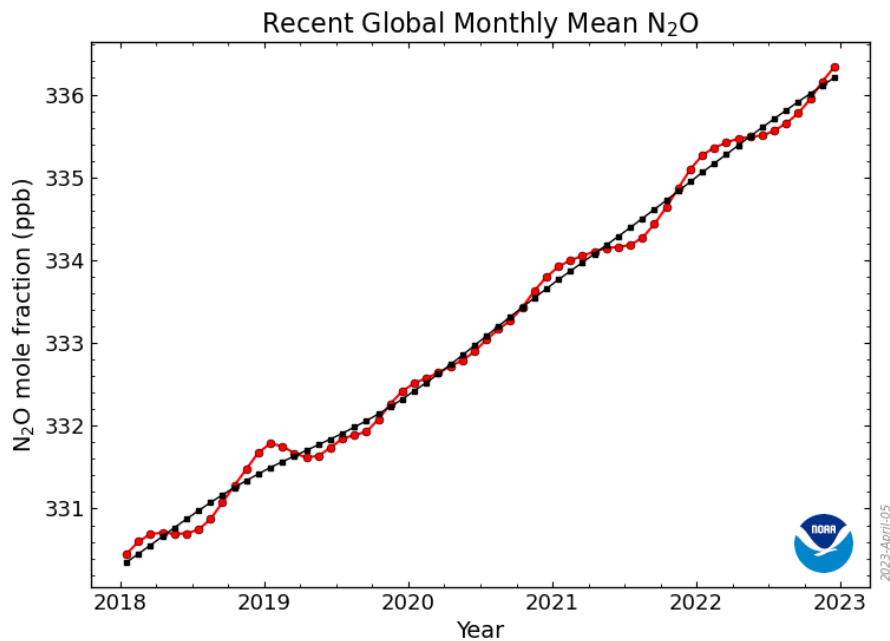


Figura 3: Concentración global de N₂O, 2018 hasta 2022 (actualizado diciembre 2022)

Fuente: (MLO, 2022)

En las últimas cuatro décadas, las emisiones mundiales de óxido nítrico generadas por acciones humanas, en las que la fertilización de los cultivos con nitrógeno es la principal responsable, han aumentado en un 30%. La agricultura es la principal fuente antropogénica de emisiones de este gas, representando el 70% del total de las emisiones debido al uso de fertilizantes y estiércol. Este aumento, ha sido la causa principal del acrecentamiento en la concentración de óxido nítrico en la atmósfera (Organización Meteorológica Mundial, 2021).

- Emisiones de hexafluoruro de azufre (SF₆).

El SF₆ gas de efecto invernadero muy poderoso y de larga permanencia, posee un potencial de calentamiento global de 23500 veces más que el CO₂ a lo largo de 100 años. Este gas, se usa comúnmente como un aislante eléctrico en dispositivos con alta tensión y en la producción de equipos electrónicos y semiconductores. Hasta el año 2019, las concentraciones de hexafluoruro de azufre alcanzaron un nivel de 1007 partes por billón (ppb) (Figura 5) (MLO, 2022).

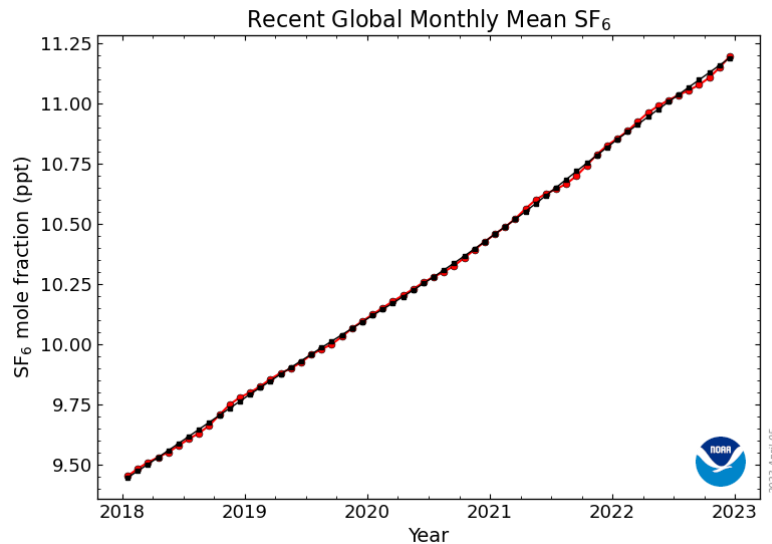


Figura 4: Concentración global de SF₆, 2018 hasta 2022 (actualizado diciembre 2022)

Fuente: (MLO, 2022)

La emisión de SF₆ contribuye significativamente al calentamiento global, por lo que es transcendental minimizar su liberación el ambiente. Para minimizar las emisiones de SF₆, se pueden adoptar medidas como el mantenimiento apropiado de los equipos, la sustitución de los equipos obsoletos y del adelanto de los procesos de fabricación. También, se debe considerar el uso de alternativas más sustentables con el medio ambiente (Espíndola & Valderrama, 2011).

2.2.2 Medición de los gases de efecto invernadero GEI.

Existen varios instrumentos que son utilizados para medir los gases de efecto invernadero. Algunos de ellos se los menciona a continuación:

- **Analizadores de gases:** Estos instrumentos miden la cantidad de CO₂, CH₄ y otros gases de efecto invernadero en el aire. También, algunos pueden calcular la humedad y temperatura del aire.
- **Espectrómetros de masas:** Estos instrumentos miden la composición de los GEI en métodos de la masa de sus moléculas. Esto permite identificar la presencia y la cantidad de diferentes gases de efecto invernadero en la atmósfera.
- **Radiómetros:** Instrumentos miden la cantidad de radiación infrarroja que emiten los gases de efecto invernadero. Esta medición proporciona reseñas sobre la cantidad de calor que retienen los gases en la atmósfera.
- **Satélites:** Los satélites equipados con espectrómetros y radiómetros pueden medir la cantidad y la distribución de los gases de efecto invernadero en la atmósfera de la Tierra a nivel global.

2.3 Degradación del suelo.

La degradación del suelo implica la pérdida de su utilidad presente o futura, así como una disminución en sus funciones potenciales. Aunque un proceso pueda ser considerado natural, cuando es desencadenado, intensificado o acelerado por acciones humanas, puede transformarse en una causa de degradación.

Según Cartes (2013), la degradación del suelo se considera como el desequilibrio en las propiedades del suelo que disminuyen su capacidad para ser productivo. Esto se manifiesta en cambios físicos como la erosión, químicos como la falta de nutrientes, la acidez, la salinidad, entre otros, y materia orgánica.

El agotamiento de la materia orgánica es la causa principal de la degradación física y biológica del suelo, lo cual está estrechamente relacionado con el uso del suelo y su cubierta vegetal. Los efectos negativos en las características físicas del suelo incluyen la disminución de la estructura, la disminución de la porosidad, el aumento de la densidad aparente y la formación de costras en distintos tipos de suelo, lo que impide un excelente crecimiento de las plantas (Rodríguez, 2021).

2.3.1 Descomposición de la materia orgánica.

La descomposición microbiana se origina a partir de distintas fuentes de materia orgánica, siendo principalmente los desechos de plantas, los restos de animales y las excreciones de estos últimos los principales contribuyentes. Además, los microorganismos muertos funcionan como una fuente de carbono para la reproducción de comunidades microbianas.

La naturaleza de la química de la materia orgánica es intrínsecamente compleja y resulta muy fascinante investigar las transformaciones y los organismos responsables de dichos procesos. No obstante, estas investigaciones enfrentan diversos desafíos, especialmente debido a la diversidad de los sustratos presentes en la naturaleza (Instity, 2018). Como puede observarse Figura 6.



Figura 5: Proceso de descomposición de residuos orgánicos

Fuente: (Codeverde, 2019)

Para los microorganismos, la diversidad de los materiales vegetales implica una amplia gama de sustancias que son heterogéneas tanto en su composición física como química. Los componentes químicos de las plantas suelen clasificarse en siete categorías generales.

- La celulosa, que es el componente químico más cuantioso, varía en concentración entre el 15% y el 60% del peso seco.
- La hemicelulosa, generalmente representa del 10% al 30% del peso
- La lignina, que comúnmente constituye entre el 5% y el 30% de la planta.
- La fracción soluble en agua, que contiene azúcares simples, aminoácidos y ácidos alifáticos, y representa del 5% al 30% del peso de la planta.
- Los componentes solubles en éter y alcohol, que contienen grasas, aceites, ceras, resinas y una variedad de pigmentos.
- Las proteínas, que contienen nitrógeno y azufre como parte de su estructura vegetal.
- La fracción mineral (cenizas): Los componentes minerales son distintos del 1% al 13% del peso total.

2.3.2 Cambios durante la descomposición de la materia orgánica.

Según Reyes & Ortiz, (2019), a medida que una comunidad de microorganismos se forma en presencia de productos naturales químicamente complejos, se produce una ligera degradación de algunos de éstos, mientras que otros son menos susceptibles a las enzimas microbianas y permanecen intactos. Los componentes vegetales más sensibles se encuentran en la fracción soluble en agua, lo que los convierte en los primeros en ser metabolizados durante el proceso.

La degradación de los componentes más fácilmente accesibles del residuo vegetal conlleva cambios en la estructura química de la porción restante. El proceso de transformación se ve principalmente afectado por la aparición de nuevas células microbianas y por las partes de las plantas que son más resistentes a los ataques. Un ejemplo de esto es la conexión de las sustancias aromáticas con la lignina, que posiblemente se originen a partir de ella.

Durante el proceso de descomposición, ocurren otras modificaciones en la materia orgánica. Según ciertas investigaciones, se ha observado una disminución en el contenido de grupos hidroxilo en el residuo remanente a medida que progresa el proceso de descomposición. Por otro lado, se ha observado un aumento en el contenido de grupos carboxilo y en la capacidad de intercambio catiónico (Reyes & Ortiz, 2019).

2.3.3 Organismos descomponedores.

La microbiota está compuesta por microorganismos que son especialmente favorecidos por los componentes de las sustancias orgánicas añadidas. Por otro lado, se forma una flora secundaria que incluye microorganismos que se desarrollan tanto en los compuestos generados por los agentes primarios como en las células muertas o vivas de la flora inicial. Estos sucesores microbianos presentan una maquinaria bioquímica diferente a la que se encuentra al inicio del proceso. La

población microbiana que responde a la transformación del carbono orgánico de esta manera se nutre de:

- Los materiales orgánicos adicionales agregados.
- Los productos intermedios formados durante el proceso de descomposición.
- Los organismos involucrados en la degradación de los pasos a o b.

2.4 Generación de residuos.

La producción de basura en una ciudad es un asunto crucial y fundamental. Es importante saber de dónde provienen los residuos, los cuales incluyen materiales como: envases usados y productos de consumo que se generan en hogares a partir de actividades domésticas, centros comerciales o lugares públicos (Jiménez, 2015).

Costa (2006), indica que se define como residuo a cualquier objeto, material, sustancia o elemento que se genera como resultado del consumo o uso de bienes o actividades en los ámbitos doméstico, industrial, comercial, institucional o de servicios, y que el generador decide desechar, rechazar o entregar. Estos residuos pueden tener la posibilidad de ser aprovechados o transformados en nuevos productos de valor económico, o bien, ser gestionados de manera adecuada al final de su ciclo de vida útil.

Para entender la clasificación de los residuos generados, a estos se los divide de la siguiente manera.

- **Residuos orgánicos:** Verduras, cascaras de frutas o huevos, espinas de pescado, restos de comida, huesos de carne, entre otros (Figura 7) (Barrera & Otacoma, 2017).



Figura 6: Presencia de distintos residuos orgánicos

Fuente:(Codeverde, 2019)

- **Residuos inorgánicos:** proviene de un medio mecánico o es la derivación de una alguna causa no natural como, por ejemplo: botellas, plásticos, entre otros (Figura 8) (Barrera & Otacoma, 2017).



Figura 7: Presencia de distintos residuos orgánicos

Fuente: (Alamy, 2018)

2.4.1 Generación de residuos sólidos en mercados de la ciudad de Cuenca.

Los mercados de la ciudad de Cuenca son significativas fuentes de generación de residuos, determinando que la gran parte está formada por materia orgánica (76 %), recolectando alrededor 1438297 t en el año 2012, tomando en cuenta que también se cuenta la conformación de material inorgánico (Barrera & Otacoma, 2017).

2.4.2 Residuos vegetales.

Los residuos vegetales, son residuos orgánicos fácilmente degradables en el ambiente (UAESP, 2018). Se caracterizan por ser:

- **Putrescibles:** Son procedentes de materiales naturales, que no han tenido una intervención en su transformación, disponiendo de un grado de humedad alto, permitiéndoles así presentar un grado de biodegradabilidad, por ejemplo: residuos de jardín, residuos de mercados, residuos de comida, etc (Galvis, 2016).

2.4.3 Descomposición de la materia orgánica.

La descomposición de la materia orgánica es un método biológico natural que se produce en el suelo y su rapidez, va a depender de tres factores: la composición de organismos en un suelo, las características del ambiente físico (O_2 , humedad y temperatura) y la calidad del material orgánico.

El suelo este compuesto por una parte viva, la cual les pertenece a los microorganismos (virus, bacterias, protozoarios, hongos, nemátodos y algas) y macroorganismos (topos e invertebrados y artrópodos).

Los microorganismos como : bacterias, invertebrados grandes (lombrices) y los insectos, descomponen los residuos orgánicos mediante su ingestión y en ese proceso reciclan energía y nutrientes, los cuales posteriormente serán utilizados por las plantas (Julca-Otiniano et al., 2006)

2.5 Digestato.

El digestato es un fertilizante que se obtiene mediante la digestión anaeróbica, un proceso en el cual los microorganismos descomponen los materiales orgánicos sin la presencia de oxígeno. Este producto contiene todos los nutrientes necesarios para los cultivos, como el nitrógeno, el fósforo y el potasio (Trucco & Pugliese, 2020).

Además, la materia orgánica presente en el digestato puede aumentar el contenido de humus en el suelo, lo cual es especialmente beneficioso en áreas con condiciones áridas o semiáridas y un bajo nivel de carbono en el suelo. En comparación con la materia orgánica sin procesar, el digestato tiene un mayor porcentaje de nitrógeno fácilmente disponible, lo que incrementa su valor como fertilizante.

2.5.1 Tipos.

- **Los reactores de flujo pistón.** -son dispositivos que cuentan con una cámara de digestión alargada, dispuesta horizontalmente, y no incluyen la recirculación de lodos. Estos reactores se utilizan especialmente para tratar residuos con una alta concentración de materia sólida, como el estiércol, y pueden ofrecer un proceso microbiológico más estable.
- **Los reactores de contacto anaerobio-** son sistemas que se componen de un tanque agitado, donde se ejecuta el proceso de digestión, y un decantador que separa los sólidos suspendidos en el efluente. Posteriormente, estos sólidos se recirculan de nuevo al reactor. Estos digestores son especialmente adecuados para tratar efluentes con unas altas concentraciones de sólidos en suspensión, que tienen una facilidad para sedimentar, como es el caso de las aguas residuales con una carga orgánica elevada
- **Los reactores de lecho de lodos suspendidos.** - son sistemas que cuentan con un dispositivo en la parte superior que se encarga de separar los sólidos del gas y del líquido, lo que permite la decantación interna de los lodos. Este sistema utiliza una campana invertida como método de desgasificación y sedimentación.

2.5.2 Proceso de funcionamiento del digestato.

El digestato es un beneficio secundario que se consigue mediante la descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno, un proceso conocido como digestión anaerobia. Durante este proceso, se genera biogás como producto principal. La actividad se lleva a cabo dentro de recipientes cerrados llamados digestores, donde las condiciones son controladas, y en este proceso participan una variedad de microorganismos (bacterias) responsables de descomponer los desechos orgánicos (Marroquín, 2018).

2.6 Microorganismos benéficos (MOBs).

En la actualidad, se ha vuelto muy común abordar el tema de los microorganismos, sus ventajas y su relación con distintas formas de vida, además de su función principal en el medio

ambiente. Actualmente, el uso de microorganismos en diversos ámbitos está en firme evolución y progreso (Alvarez-Vera, 2018).

Los microorganismos benéficos son fundamentales para la salud y la productividad del suelo en la agricultura. Estos microorganismos pueden obtenerse a partir de especies de plantas y tienen la capacidad de habitar en el suelo. Entre sus beneficios destacan la capacidad de fijar nitrógeno y mejorar la fertilidad del suelo, lo que se traduce en mejores rendimientos en los cultivos. En consecuencia, el uso de estos microorganismos puede resultar altamente beneficioso para los procesos agrícolas (Vázquez et al., 2019).

En los años 80, el profesor Teruo Higa desarrolló el concepto de microorganismos eficientes (EM), una técnica revolucionaria en la agricultura se basa en el uso de un cultivo de diferentes microorganismos benéficos de ocurrencia natural para optimizar la calidad del suelo y aumentar la producción de los cultivos (Higa & Parr, 2008).

2.6.1 Tipos de microorganismos benéficos.

Según Alvarez-Vera (2018), menciona los microorganismos benéficos son una variedad diversa de microorganismos no patógenos y beneficiosos que coexisten en el ambiente, incluyendo especies anaerobias y aerobias. En total, se han identificado alrededor de 80 especies dentro de los microorganismos benéficos, los cuales tienen la capacidad de purificar y reactivar el ecosistema en el que habitan.

Morocho & Mora (2019), señalan que los microorganismos benéficos están compuestos por 5 grupos microbianos generales, los cuales son: a) bacterias ácido-lácticas, b) bacterias fotosintéticas, c) levaduras, d) actinomicetes y e) hongos filamentosos con el objetivo de fermentación.

- Bacterias ácido lácticas. -

Se trata de bacilos Gram positivos anaerobios y microaerófilos que carecen de la capacidad de reducir el nitrato a nitrito. Además, generan ácido láctico como importante producto de la fermentación de carbohidratos (Morocho & Mora, 2019)

- Bacterias fotosintéticas. -

Estos organismos utilizan moléculas orgánicas derivadas por los exudados de las radículas de las plantas como fuente de carbono, y aprovechan la luz solar y la energía térmica de la tierra como fuente de energía (Morocho & Mora, 2019).

- Levaduras. -

Morocho & Leiva-Mora (2019), señalan que algunas levaduras constituyen un conjunto microbiano importante dentro de los microorganismos benéficos, con la capacidad de manejar diferentes fuentes de carbono y energía.

- **Actinomicetes.** -

Función principal consiste en descomponer la materia orgánica y transformar compuestos resistentes en formas más simples, lo que les permite liberar elementos nutritivos. Además, estos organismos son capaces de controlar la proliferación de bacterias y hongos patógenos, contribuyendo así a mantener un ambiente sano y equilibrado (Pauta, 2022).

- **Hongos filamentosos.** -

Los mohos o hongos filamentosos comparten algunas características con las plantas, como su soma vegetativo (talo) y sus filamentos microscópicos continuos, los cuales pueden ser más o menos alargados y ramificados, y cuentan con paredes celulares bien definidas. Estas características les permiten desarrollarse en diferentes ambientes y cumplir diversas funciones dentro de los ecosistemas (Suárez-Controreas & Peñaranda-Figueredo, 2022).

Las bacterias ácido lácticas, levaduras, bacterias fotosintéticas, actinomicetes y hongos filamentosos son microorganismos que se caracterizan por ser compatibles de forma mutua, por lo que son capaces de coexistir en un cultivo líquido. Estos microorganismos descomponen los desechos orgánicos, por lo tanto, biorremedian el suelo de productos químicos, aumenta la retención de nutrientes y se generan componentes bioactivos que estimulan el crecimiento de las plantas. (Morocho & Mora, 2021).

2.6.2 Funciones de los microorganismos benéficos.

Alvarez-Vera (2018), indica que los microorganismos benéficos tienen diversas funciones importantes en el ecosistema entre ellas se destacan.

- Capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico
- Descomponer desechos orgánicos y residuos
- Suprimir el crecimiento de patógenos en el suelo
- Reciclar y aumentar la disponibilidad de nutrientes para las plantas
- Degradar tóxicos, producir antibióticos y otros compuestos bioactivos
- Solubilizar fuentes de nutrientes insolubles y producir polisacáridos que mejoran la agregación del suelo, entre otras.

Cada una de estas funciones resulta fundamental para el equilibrio y la salud del ecosistema y son un claro ejemplo de cómo la presencia de microorganismos benéficos impacta positivamente en la eficacia de los suelos y la obtención agrícola (Figura 9).

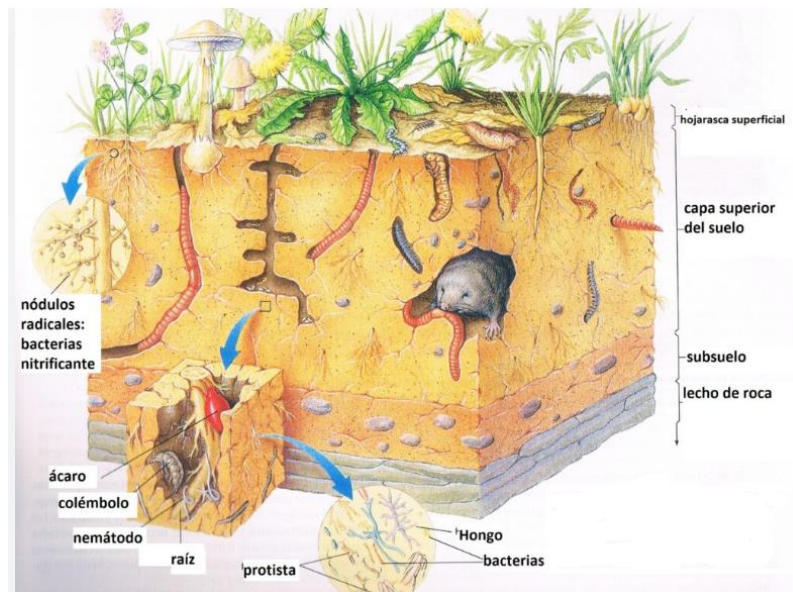


Figura 8:Diversidad de vida en un suelo con presencia de MOBs

Fuente: (Agroecología, 2015).

2.6.3 Uso de microorganismos benéficos para relleno sanitario.

La utilización de la tecnología de microorganismos beneficiosos es altamente efectiva para el control de los vertederos y rellenos sanitarios. En la actualidad, una gran proporción, que oscila entre el 40% y el 60%, de los desechos son de origen orgánico, lo que provoca la producción de desagradables olores, proliferación de moscas, filtración de líquidos contaminantes y la emisión de gas metano, entre otros problemas (Figura 10) (EM Organization, 2019).

Los microorganismos benéficos tienen altas propiedades de fermentación, beneficiando en el uso de rellenos sanitarios y botaderos.

- Disminución de los olores desagradables y la presencia de moscas.
- Aceleración del proceso de descomposición de la materia orgánica, lo cual contribuye a extender la vida útil de los vertederos o rellenos sanitarios.
- Mejora de la calidad de los lixiviados (líquidos que se generan a partir de la descomposición de los residuos) en términos de su composición y potencial impacto ambiental.
- Reducción de la emisión de gases ofensivos, como el metano.



Figura 9: Aplicación de MOBs sobre la basura

Fuente:(EM Organization, 2019).

2.7 Biochar.

2.7.1 Definición.

El biochar es un producto rico en carbono, que se diferencia del carbón vegetal y otros materiales análogos. Se produce con el propósito de enriquecer el suelo, mejorando tanto su calidad como su capacidad de almacenamiento de carbono, o para descontaminar suelos contaminados (Ordoñez, 2020).

Según Cely (2016), indica que es una mezcla diversa de compuestos aromáticos y materia mineral, que se obtiene mediante la pirolisis de biomasa producida de manera razonable bajo escenarios controlados y tecnologías respetuosas con el medio ambiente. Su uso puede ser variado, siempre y cuando no implique involucre una alígera mineralización del CO₂, y en ciertas circunstancias, puede incluso servir como enmienda para el suelo (Figura 11).



Figura 10: Muestras de biochar

Fuente:(Cely, 2016).

La composición del biochar se determina por su estructura porosa, su contenido de carbono estable y una variedad de nutrientes para las plantas, incluyendo nitrógeno, fósforo y azufre, así como cenizas, hidrógeno y oxígeno. La zona porosa del biochar posee también una cantidad significativa de grupos funcionales y elementos húmicos y fúlvicos que pueden ser extraídos (Videgain, 2021).

2.7.2 Características físicas y químicas.

Las propiedades del biochar permiten mejorar tanto las características físicas como químicas del suelo y desarrollar la producción de las plantas. Además, este material ayuda a capturar carbono, por lo que representa una nueva estrategia para combatir el cambio climático (Pocomucha, 2020).

Ordoñez (2020), indica que el biochar es un macizo carbonoso de color negro con propiedades estructurales que alteran en función del tipo y del tiempo de pirolisis. Está compuesto por partículas de distintas dimensiones.

Según Prieto (2016), menciona que la composición física y química del biochar está sujeta a cambios según el tipo de biomasa que se someta a calor y las circunstancias específicas del proceso de pirolisis empleado en su creación. En la Tabla 1 se observa las características químicas del biochar.

Tabla 1. Propiedades químicas del biochar

Propiedades químicas del biochar		
Elemento	Unidad	Valor
Carbono	(%)	83,8
Nitrógeno	(%)	0,51
Fosforo	(g/kg)	1,58
Calcio	(g/kg)	18,81
Níquel	(mg/kg)	32,6
Aluminio	(mg/kg)	2,07
Sodio	(g/kg)	0,81

Fuente: (Morocho & Leiva-Mora, 2019)

- **Potencial de hidrogeno (pH).**

La consideración del pH es esencial ya que influye directamente en la interacción entre el suelo, la solución nutritiva y la planta. El pH final de este ambiente dependerá de la materia prima utilizada y de las situaciones en las que se desarrolle el proceso. Es por ello que el pH debe ser tomado en cuenta como un componente clave en esta relación (Arévalo, 2019).

- **Conductividad eléctrica.**

La conductividad eléctrica (CE) se refiere a la destreza de un material para transportar corriente eléctrica. En el caso de los suelos, la CE tiene como objetivo principal determinar la

cantidad de sales solubles presentes. A medida que la CE aumenta, también lo hace la concentración de sales en el suelo (Ordoñez, 2020).

- **Capacidad e intercambio catiónico.**

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es una propiedad relevante del suelo, ya que tiene un efecto directo en la absorción y liberación de nutrientes y, en consecuencia, en su disponibilidad en el suelo. Cuando el biochar presenta una CIC elevada, es posible que esto se deba a la presencia de grupos eficaces oxidados en su superficie, los cuales se forman a través de procesos degradativos microbianos (Arévalo, 2019).

2.7.3 Proceso de obtención del biochar.

En el proceso de obtención del biochar, se establecen ciertos parámetros que son fundamentales para su producción, tales como la selección adecuada de la materia prima y la técnica de pirolisis utilizada.

- **Materia prima.**

El biochar es un compuesto orgánico que se provoca a través de la pirolisis de biomasa rica en carbono. Si bien se han presentado diversos materiales como fuentes para su elaboración, tales como madera, restos de cultivos y abonos, la idoneidad de cada fuente dependerá de factores químicos, físicos y ambientales específicos que deben ser considerados para determinar su adecuación y suficiencia (Figura 12) (Verheijen et al., 2010).



Figura 11: Residuos de eucalipto (*Eucalyptus globulus*)

Fuente:(Sustentar tv, 2018)

Según Muñoz (2021), indica que la componente más comúnmente empleada en la elaboración de biochar es cualquier tipo de material vegetal seco, incluyendo restos de papel, frutas y verduras.

- Pirólisis.

Verheijen et al. (2010), sugieren que la pirólisis es un proceso químico que consiste en la desintegración de materiales orgánicos a través del calor, en ausencia total de oxígeno. Este proceso se lleva a cabo a temperaturas elevadas, superiores a los 300°C aproximadamente.

Durante el proceso de pirólisis, se genera un subproducto sólido llamado biochar, el cual es rico en carbono. Este proceso, se realiza en ausencia total o parcial de oxígeno, y consiste en calentar la biomasa a temperaturas que oscilan entre los 400 y 500 °C (conocido como pirolisis de baja temperatura). A estas temperaturas, la biomasa experimenta reacciones exotérmicas que liberan una gran cantidad de componentes gaseosos, además de producir calor (Figura 13) (Pocomucha, 2020).

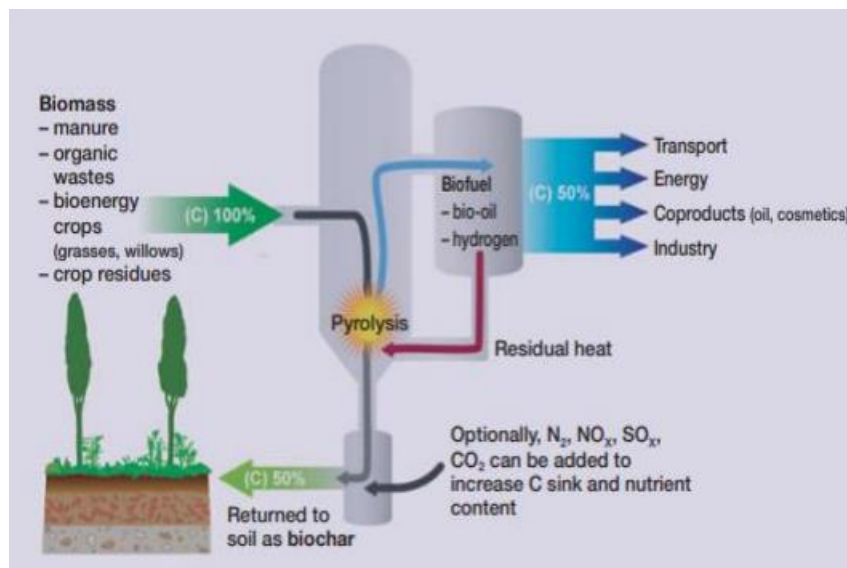


Figura 12:Procedimiento de obtención de biochar (pirolisis)

Fuente: (Vera, 2015).

- Pirólisis lenta.

Se indica que la pirolisis lenta se identifica por un proceso de calentamiento de la biomasa pausado, el cual se realiza a temperaturas bajas y durante extensos periodos de tiempo, tanto para los sólidos como para los gases (Vera, 2015).

El calentamiento ocurre a una velocidad que oscila entre 0,1 y 2 °C por segundo, y se mantienen temperaturas alrededor de los 500 °C. El tiempo de permanencia del gas puede superar los 5 segundos, mientras que para la biomasa puede ser de varios minutos e incluso días. Esta causa es el que permite obtener el mayor rendimiento de biocarbón (Cely, 2016).

- Pirólisis rápida.

Verheijen et al. (2010), señalan que cuando la temperatura se mantiene en torno a los 550°C, se obtienen como productos los bioaceites.

Cuando se produce biochar a altas temperaturas durante el transcurso de pirólisis, se obtienen biochar que presentan baja carga superficial pero un alto contenido de cenizas y valores de pH elevados. Sin embargo, a medida que la temperatura de pirólisis aumenta, se obtiene una menor cantidad de material utilizable (Pocomucha, 2020).

2.7.4 Efectos ecológicos de la aplicación del biochar.

- Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

En la actualidad, uno de los aspectos más significativos en relación al cambio climático es el fenómeno del calentamiento global. Este fenómeno se atribuye principalmente a las actividades humanas, las cuales generan emisiones masivas de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero hacia la atmósfera. Estas emisiones son responsables de la retención de calor en la Tierra, lo que causa un aumento de la temperatura global y tiene múltiples efectos sobre el clima y los ecosistemas. (Cely, 2016). Varias investigaciones sugieren que el biochar podría tener un efecto positivo en la captura y retención de gases en el suelo. Una de las razones de esto es que el biochar podría estabilizar la materia orgánica presente en el suelo, lo que permitiría que el carbono se mineralice gradualmente. Varias investigaciones señalan que el uso de biochar podría tener un efecto beneficioso en la captura y retención de gases en el suelo, debido a que el biochar puede estabilizar la materia orgánica presente en el suelo, lo que promueve una mineralización gradual del carbono (Verheijen et al., 2010).

Como resultado, al agregar biochar al suelo, se pueden reducir las emisiones de CO₂ en comparación con la adición directa de materia orgánica. Según estimaciones anteriores, la aplicación de biochar en una superficie de 250 hectáreas podría capturar alrededor de 1900 toneladas de CO₂ al año. Esto sugiere que el biochar no es un material inerte, ya que contiene una cantidad significativa de carbono fácilmente degradable, que puede servir como fuente de energía para los microorganismos presentes en el suelo (Figura 14) (Cely, 2016).

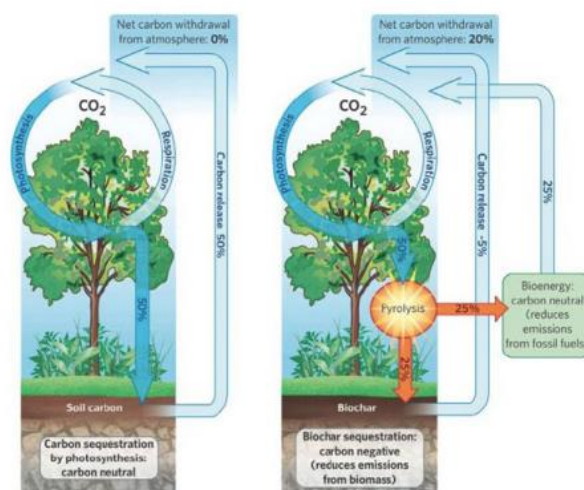


Figura 13: Influencia del bichar en la fijación de carbono en los suelos

Fuente: (Laban et al., 2018).

Según Videgain (2021), menciona que es importante tener en cuenta que, si bien se han obtenido resultados positivos en diversas investigaciones sobre la reducción de emisiones de CO₂ en el suelo mediante la aplicación de biochar, también es crucial considerar que la mineralización de la materia orgánica original del suelo puede verse afectada tanto de manera positiva como negativa por la adición de este material.

- **Administración de desechos y desperdicios.**

Es crucial enfocarse en el manejo sostenible de los residuos orgánicos como parte de nuestra responsabilidad ambiental. Aunque se necesitan estudios a largo plazo y en campo para confirmar los beneficios ambientales y agrícolas del uso del biochar, este se presenta como una opción prometedora en la gestión sostenible de los residuos orgánicos. La producción de biochar implica el aprovechamiento de residuos orgánicos como materia prima, lo que lo convierte en una alternativa viable para abordar los desafíos de la gestión sostenible de residuos (Cely, 2016).

2.8 Marco legal.

2.8.1 Escenario internacional.

El marco internacional del cambio climático se compone de dos herramientas principales: la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) y el Protocolo de Kioto, junto con varias decisiones tomadas en las Conferencias de las Partes.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático empezó a tener efecto desde el 21 de marzo de 1994, se encontraban involucradas 197 partes, como los miembros de las Naciones Unidas, Niue, Islas Cook y la Unión Europea (CMNUCC, 2017).

Con el principal objetivo de regularizar las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, se proponen la elaboración de inventarios y la presentación de comunicaciones (Departamento de asuntos regulatorios y europeos, 2019).

En el Ecuador desde el 2008 al 2012 tuvo lugar el primer intento de cumplimiento del Protocolo de Kioto, mediante la Constitución política, distinguiéndose en la generación de los diferentes compromisos de la reducción, incremento o estabilización limitada de emisiones. Así mismo, el Acuerdo de París a partir del año 2020, está promoviendo una transición hacia una economía que emita menos gases contaminantes para luchar contra el cambio climático. Este enfoque busca reducir el impacto negativo de las emisiones en el ambiente y fomentar prácticas más sostenibles y responsables (Naciones Unidas, 2019). Es importante destacar que Ecuador ha suscrito la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) desde 1992, lo que demuestra su compromiso con la lucha contra el cambio climático. Además, en 1999 firmó el Protocolo de Kioto y en 2016 ratificó y adoptó el Acuerdo de París, lo que evidencia su disposición para promover prácticas más sostenibles y responsables en el país (MAE, 2017).

2.8.2 Escenario nacional.

Es importante destacar que Ecuador ha implementado diversas leyes, políticas y planes con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigar los efectos del cambio climático. Estos esfuerzos están en consonancia con los compromisos internacionales adquiridos por el país, como el Acuerdo de París y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

Entre las medidas adoptadas, se incluyen la creación del Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA) y la implementación del Plan Nacional para el Buen Vivir 2017-2021, que busca promover la mitigación del cambio climático y la implementación de energías limpias. Es importante destacar que, Ecuador ha ratificado el Acuerdo de París se ha comprometido a reducir sus emisiones de GEI en un 25% para el año 2025. Además, el país se ha propuesto ser carbono neutral para el año 2050.

2.8.3 Constitución del Ecuador.

El 20 de octubre de 2008, R.O. 449, tomó efecto la Constitución de la República del Ecuador. En el Art. 414, en donde el estado se compromete adoptar medidas de mitigación para el cambio climático, mediante alternativas como la limitación de gases de efecto invernadero (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

El respaldo también se encuentra en la implementación de medidas intersectoriales para hacer frente al cambio climático, en el Art. 272 de la carta magna, el cual menciona: “El conjunto organizado, sostenible y dinámico de los sistemas económicos, políticos, socioculturales y ambientales que garanticen la realización del Buen Vivir, del Sumak Kawsay” (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

También se presenta Art. 319 que establece:

“Un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras” (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

2.8.4 Estrategia Nacional de Cambio Climático.

Se basa en el trabajo coordinado entre los diferentes niveles de gobierno en contra el cambio climático, los sectores considerados para la reducción de emisiones GEI se establecieron los siguientes (Ministerio del Ambiente, 2012):

- Agricultura
- Uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura
- Energía
- Manejo de desechos sólidos y líquidos

- Procesos industriales

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se basó en una investigación cuasi-experimental, la cual tuvo un nivel de indagación explicativo se expuso como variable independiente (gases de efecto invernadero), influyendo en la variable dependiente (biochar y microorganismos benéficos).

El método utilizado en este estudio fue científico y se basó en la demostración de una hipótesis previamente planteada: la aplicación de microorganismos benéficos y biochar en los cuatro tratamientos de los reactores contribuiría a minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). La demostración, se realizó mediante el estudio de variables y parámetros cuidadosamente seleccionados para alcanzar los objetivos establecidos. Estos objetivos incluyeron la medición cuantitativa de los gases de GEI durante la degradación.

3.1 Zona de estudio.

El estudio se desarrolló con muestras de residuos vegetales, tomadas del Mercado 12 de abril de la ciudad de Cuenca. Ubicado cerca del sector el Carbonazo, (sector Paseo de los Cañaris) y Perezpata. Geográficamente ubicado a $2^{\circ}54'09.86''S$ y a $78^{\circ}59'32.49''O$, la cual se verifica en la Figura 15.



Figura 14:Ubicación del mercado 12 de abril de la ciudad de Cuenca.

Fuente: Google Earth, (2022).

Por otro lado, el análisis práctico y el monitoreo se realizó en la Unidad Académica de Posgrado de la Universidad Católica de Cuenca, ubicado en La Estancia Luis Cordero "El Grande", en la Calle Camino a Patamarca y Cojimíes, en el Sector Uncovía. Este centro está geográficamente situado en las coordenadas 2°52'11.7"S y 78°58'52.8"O, como se verifica en la Figura 16.



Figura 15: Sitio de la estancia Luis Cordero "El Grande".

Fuente: Google Earth, (2022).

3.2 Tratamientos y diseño de biorreactores.

3.2.1 Tratamientos.

El estudio se realizó utilizando un total de 4 unidades experimentales con el propósito de verificar el resultado de la aplicación de microorganismos benéficos y biochar en la disminución de gases de efecto invernadero.

Se implementaron tres tratamientos distintos y se incluyó un grupo de control. El diseño empleado fue el de bloques completos de manera secuencial.

La investigación estuvo establecida por tres tratamientos y uno de control, como se verifica en la Tabla 2.

Tabla 2. Detalles de los tratamientos aplicados

Tratamientos	Descripción
T1	Residuos orgánicos + MOBs
T2	Residuos orgánicos + MOBs + biochar
T3	Residuos orgánicos + biochar
T4	Residuos orgánicos (testigo)

En la Tabla 3, se muestran las cantidades utilizadas en los diferentes tratamientos. Es importante resaltar que cada capa se inició con residuos orgánicos, seguido del tratamiento correspondiente, y así sucesivamente, hasta alcanzar una altura máxima de 20 cm. Esta medida se tomó con el propósito de asegurar que los reactores tuvieran el espacio adecuado para obtener los datos de manera óptima. Para lograrlo, se tomaron porciones iguales, como se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3. Descripción de las diferentes dosis aplicadas para los tratamientos

T1	T2	T3	T4	
Residuos orgánicos + MOBs	Residuos orgánicos + MOBs + biochar	Residuos + biochar	Residuos orgánicos	
1500 g (R.O)	1500 g (R.O)	1500 g (R.O)	20000g (R.O)	
1500g (R.O)	1500 g (R.O)	1500g (R.O)		
50 g (MOBs)	50 g (MOBs)	50 g (BCH)		
1500 g (R.O)	50 g (BCH)	1500 g (R.O)		
50 g (MOBs)	50 g (BCH)	50 g (BCH)		
1500 g (R.O)	50 g (MOBs)	1500 g (R.O)		
1500 g (R.O)	1500g (R.O)	1500 g (R.O)		
50(MOBs)	50 g (MOBs)	50 g (BCH)		
1500 g (R.O)	50 g (BCH)	1500 g (R.O)		
1500 g (R.O)	1500 g (R.O)	1500 g (R.O)		
4675 g (R.O)	4675 g (R.O)	4675 g (R.O)		
4675 g (R.O)	4675 g (R.O)	4675 g (R.O)		
20000g	20000g	20000g		20000g

A continuación, en la Tabla 4, se observan los porcentajes de aplicados en cada uno de los tratamientos.

Tabla 4. Niveles de porcentajes aplicados en los tratamientos.

Niveles de porcentajes aplicados en los tratamientos			
T1	T2	T3	T4
Residuos orgánicos 10,500 gr	Residuos orgánicos 10,500 gr	Biochar 150 gr 0,75%	Residuos orgánicos 20000 gr
MOBs 150 gr 0,75%	Biochar 150 0,75%	Residuos orgánicos 10,500 gr	
	MOBs 150 gr 0.75%		

3.2.2 Diseño de biorreactores.

El diseño del biorreactor se basó en un tanque cerrado, con un tiempo establecido de funcionamiento. El biorreactor fue construido utilizando material de polipropileno.

Se emplearon cuatro biorreactores con dimensiones 50 x 36 x 28 cm y una capacidad de alrededor de 50 litros, tal como se ilustra en la (Figura 17).

En donde se llevó a cabo el monitoreo de la temperatura, humedad, metano, dióxido de carbono y amoníaco

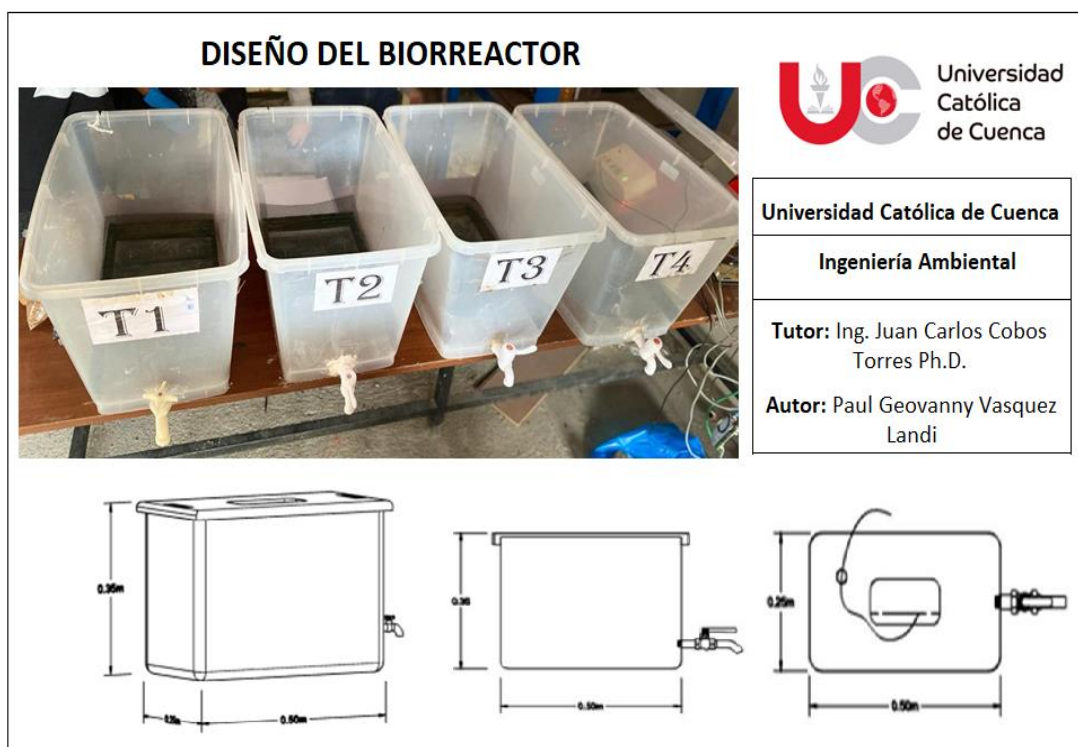


Figura 16: Diseño del biorreactor

Además, se instalaron grifos plásticos en la parte delantera de cada uno de los biorreactores, con el objetivo de facilitar la descarga de los lixiviados de manera conveniente (Figura 18).



Figura 17: Llave para liberación de lixiviados

3.3 Diseño de sensores.

El sistema implementado, se apoyó del diseño planteado por (Reyes-Ordoñez et al., 2020). Este sistema de medición fue completamente fabricado utilizando Arduino y Raspberry Pi. Compuesto por un subsistema que desempeña múltiples funciones. El primero de ellos consiste en monitorear los niveles de gases presentes dentro del depósito, tales como dióxido de carbono, amoníaco y metano. Además, también registra la temperatura y humedad ambiental en el interior del depósito (Figura 19).



Figura 18: a) Sistema de armado de los sensores b) Sensores colocados en los biodigestores

Fuente: (Reyes & Ortiz, 2019)

En la Figura 20 se visualiza el sistema de sensores, junto con las correspondientes conexiones.

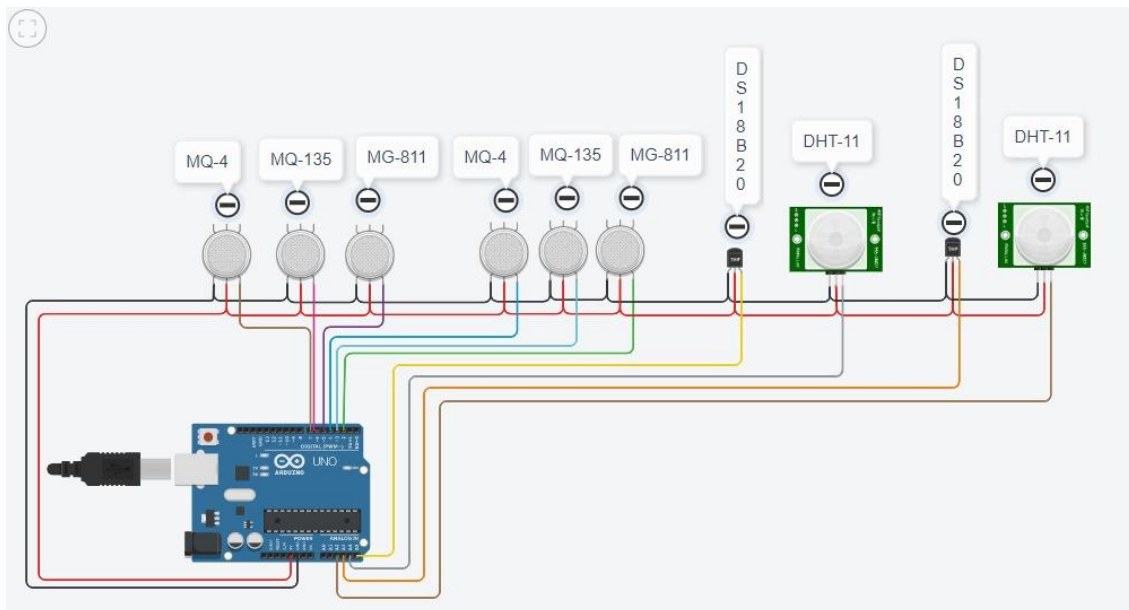


Figura 19: Esquema de conexiones de los sensores

Fuente: (Reyes-Ordoñez et al., 2020)

Se seleccionaron sensores electroquímicos para el cálculo del dióxido de carbono, humedad, metano y amoníaco, considerando tanto su precio como su disponibilidad. La Tabla 5 proporciona información detallada sobre las características principales de los sensores elegidos.

Tabla 5. Características principales de los sensores electroquímicos

Variable	Sensor	Señal	Unidad	Rango
Amoniaco	MQ135	Analógico y digital	ppm	100 - 300
Metano	MQ2	Analógica y digital	ppm	200 – 10,000
Dióxido de carbono	MG-811	Analógica y digital	ppm	0 – 10,000
Temperatura en el compuesto	DS18B20	Digital	°C	-55 -125 °C
Temperatura y humedad	DHT11	Digital	°C - %	0 - 50°C

Fuente: (Vidal-Espinosa et al., 2023)

3.4 Materiales.

Los materiales que se emplearon para la elaboración del siguiente trabajo fueron.

3.4.1 Materiales para la recolección de los residuos vegetales.

- Guantes
- Sacos de yute
- Baldes

3.4.2 Materiales para el proceso de trituración de los residuos vegetales.

- Guantes
- Baldes canequeros
- Plástico
- Sacos de yute
- Trituradora eléctrica

3.4.3 Materiales para la preparación de los contenedores.

- Cajas plásticas
- Alcohol
- Paños húmedos
- Marcadores para rotulación
- Silicona
- Balanza electrónica
- Malla plástica

3.4.4 Materiales para la preparación de sensores.

- Sensor MQ2 (CH₄)
- Sensor MG811 (CO₂)
- Sensor MQ135 (NH₃)
- Sensor DHT11 (Humedad y temperatura)

3.4.5 Materiales para laboratorio.

- Probetas 1000 ml
- Guantes quirúrgicos

3.5 Elaboración y caracterización del biochar.

3.5.1 Reactor eléctrico.

Durante el proceso de producción del biochar, se empleó un horno reactor eléctrico de tipo calera, como se muestra en la (Figura 21), debido a que estudios previos indican que son adecuados para llevar a cabo pruebas de pirólisis. Este horno consta una cámara interna, ambas con forma cilíndrica. Entre ambas cámaras se encuentran 3 niquelinas, y cuenta con un termómetro digital para medir la temperatura, así como un alimentador de energía de 220 V (Siguenza, 2021).



Figura 20:Reactor ensamblado

Fuente:(Siguenza, 2021)

El diseño del reactor eléctrico se apoyó en las normas señaladas por la ASME (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos). Este diseño tiene la capacidad de soportar una presión de hasta 40 Psi y operar a una temperatura de 450°C. Las medidas del reactor eléctrico se pueden observar en la (Figura 22), con un diámetro de 350 mm para la cámara externa, un diámetro de 150 mm para la cámara interna y una altura de 400 mm para ambas cámaras. Además, los cilindros que conforman el reactor tienen un espesor de material de 3 mm (Siguenza, 2021).

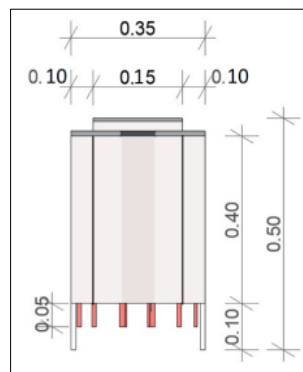


Figura 21:Dimensiones del reactor eléctrico

Fuente: (Siguenza, 2021)

3.5.2 Proceso de producción de biochar.

Para llevar a cabo la obtención del biochar, se utiliza la metodología establecida (Iglesias-Abad et al., 2020). Esta metodología proporciona un detallado procedimiento a seguir para la elaboración del biochar, ofreciendo pautas claras y específicas.

Se utilizaron 5 lb (22679 gramos) de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) en el proceso, certificando que el material vegetal estuviera seco. Posteriormente, el material vegetal con la cantidad mencionada anteriormente introdujo en la cámara interna del horno reactor (Figura 23). A continuación, se cerró casi herméticamente la cámara interna para evitar la entrada de oxígeno y así iniciar el proceso de pirólisis.



Figura 22: Fotografías del sistema de conversión a biomasa

a) Residuos dentro del reactor

b) Troncos de eucalipto (*Eucalyptus globulus*)

Se procedió a suministrar calor térmico, asegurándose de que las 3 niquelinas eléctricas estuvieran funcionando correctamente. Luego, se selló la tapa de la cámara externa del reactor y se dejó operando durante un período de 4 horas, manteniendo una temperatura de 300 °C a 450 °C. Una vez finalizado el tiempo establecido, se procedió a apagar el reactor eléctrico y permitir que se enfriara hasta el día siguiente.

Después de este período de enfriamiento, se extrajo la biomasa transformada en biocarbón y se colocó en una bandeja de plástico. Después, se procedió a tamizar el material hasta lograr una granulometría uniforme y fina. Finalmente, se realizó la pesada del biochar derivado de eucalipto, obteniendo un peso total de 484 gramos (Figura 24).



Figura 23: a) Biomasa transformada en biochar

b) Colocación del biochar en la bandeja plástica

3.5.3 Preparación del biochar para el análisis de laboratorio.

Después de obtener el biochar, se recolectó una muestra compuesta que se dividió en paquetes de 250 gramos cada uno, los cuales se colocaron en bolsas Ziploc y se etiquetaron adecuadamente. Posteriormente, los paquetes fueron enviados al laboratorio MVS, ubicados en la ciudad de Cuenca, se realizó un análisis correspondiente para determinar la estructura del biochar.

3.5.4 Análisis de las características fisicoquímicas del biochar.

La identificación de las propiedades del biochar de residuos de eucalipto, se obtuvo a través del estudio fisicoquímico llevado a cabo en el laboratorio. Siguiendo el enfoque propuesto por (Iglesias-Abad et al., 2020), se determinaron las características de morfología y estructura del biochar en base al material utilizado en su producción.

La Tabla 6 muestra los métodos aplicados por el laboratorio para el análisis de las características fisicoquímicas del contenido del biochar.

Tabla 6. Metodologías usadas para la determinación de las características fisicoquímicas

Características	Unidad	Metodología
Azufre	%	NTE INEN 237:2013-Volumetría
Boro	mg/kg	APHA 4500 B C (MODIF)- Colorimetría
Calcio	mg/kg	APHA 3500 CA B (MOD)- Colorimetría
Carbono orgánico Total	%	SM 5310 C – Espectrofotometría
Cobre	mg/kg	APHA 3500- CU (MODIF) - Colorimetría
Fosfatos	%	NTE INEN 830 – Volumetría
Magnesio	%	APHA 2340 C (MOD) – Volumetría
Manganeso total	mg/kg	HACH 8034 (MODIF) – Colorimetría
Nitrógeno total	%	APHA 4500 NORG C – Volumetría
pH	upH	EPA 9045 D – Potenciométrico
Potasio	%	STANDARDMETHODS3111B-K(MODIF) -Espectrofotometría
Sodio	%	APHA 3500 NA (MODIF) - Volumétrico
Zinc	mg/kg	HACH 809 (MODIF) – Colorimetría

Fuente:(MSV Lab, 2023)

3.6 Obtención e inmovilización de los microorganismos benéficos.

3.6.1 Obtención de los MOBs.

Los laboratorios de la Unidad Académica de Posgrado de la Universidad Católica de Cuenca facilitaron los microorganismos benéficos. A continuación, se muestra el contenido del biopreparado de estos microorganismos benéficos en la Tabla 7.

Tabla 7. Composición microbiana presente en los MOBs, en unidades formadoras de colonias por mililitro de solución.

Microorganismos	Cantidad	Unidad
<i>Acinetobacter sp.</i>	0.34298	UFC/mL
<i>Aeromonas sp</i>	1.29475	UFC/mL
<i>Alcaligenes sp.</i>	2.84720	UFC/mL
<i>Bacillus cereus</i>	2.02941	UFC/mL
<i>Bacillus subtilis</i>	1.21231	UFC/mL
<i>Candida sp</i>	0.98246	UFC/mL
<i>Clostridium sp.</i>	1.90928	UFC/mL
<i>Lactobacillus spp.</i>	0.39875	UFC/mL
<i>Listeria monocytogenes</i>	0.45922	UFC/mL
<i>Micrococcus sp.</i>	2.13476	UFC/mL
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0.64390	UFC/mL
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	0.27424	UFC/mL
<i>Pseudomonas putida</i>	1.62572	UFC/mL
<i>Saccharomyces cerevisae</i>	2.74925	UFC/mL
<i>Salmonella sp.</i>	0.29289	UFC/mL
<i>Yarrowia lipolytica</i>	1.23827	UFC/mL

Fuente:(BIONIKA, 2020)

3.6.2 Inmovilización de microorganismos benéficos.

Para este proceso, se utilizó un material orgánico conocido como afrechillo de arroz, el cual presenta propiedades como la sequedad y la facilidad para mezclarse con otros productos. Para la inmovilización, se mezcló 5 libras de afrechillo de arroz con 2 litros de mezcla que contiene microorganismos benéficos.

La mezcla, se realizó constantemente hasta obtener una masa homogénea. Para verificar la consistencia adecuada del compuesto generado, se empleó una técnica llamada prueba de puño. Esta técnica consiste en tomar una muestra de la mezcla con la mano y presionarla moderadamente. Si al abrir el puño, la muestra tiende a deshacerse, esto indica que faltan algunos componentes en la mezcla como: afrechillo de arroz y mezcla con microorganismos benéficos (Figura 25).



Figura 24: Verificación de la masa con la prueba de puño

Posteriormente, el producto obtenido se dejó secar durante 5 días en un ambiente libre de luz y humedad. Luego se procedió a pesar en fundas de 100 gr, obteniendo un total de 2000 gr que contienen microorganismos inmobilizados (Figura 26).



Figura 25: Proceso de secado

3.7 Proceso de preparación de los residuos vegetales.

3.7.1 Recolección de residuos sólidos.

La recolección de los residuos vegetales se llevó a cabo en el Mercado 12 de abril, donde se recopilaban 30 kg de residuos vegetales en saco de yute (Figura 27).



Figura 26:Recolección de los residuos vegetales en sacos de yute

A continuación, los residuos fueron trasladados a la Unidad Académica de Posgrado de la Universidad Católica de Cuenca, donde se ejecutó el proceso de preparación.

3.7.2 Descarga y proceso de triturado de los residuos vegetales.

Se procedió a descargar todos los sacos de yute que contenían los residuos vegetales. A continuación, los residuos vegetales se colocaron sobre un plástico negro extendido en el suelo, con el objetivo de seleccionar únicamente los residuos vegetales (Figura 28).



Figura 27: Proceso de selección de los residuos

A continuación, se procedió a triturar los residuos vegetales utilizando una trituradora eléctrica de la marca (TR 200). Una vez completado el proceso de triturado de los residuos vegetales, se realizó una mezcla homogénea con todo el material orgánico (Figura 29).



Figura 28: a) Proceso de trituración de los residuos vegetales



b) Mezcla homogénea

3.8 Aplicación de tratamientos.

Para la preparación de los biorreactores en primer lugar, se llevó a cabo la desinfección de cada uno utilizando alcohol y pañitos húmedos. Además, se colocó una pequeña estructura de madera en el interior de los contenedores, seguida de una malla plástica en la parte superior. Esto se realizó con la finalidad de optimizar la fluidez de los lixiviados generados (Figura 30).



Figura 29:Malla plástica en el interior del contenedor

Después, se llevó a cabo la medición de las distintas masas utilizando una balanza electrónica, las cuales se utilizarán en los distintos procedimientos de tratamientos.

La disposición de la biomasa dentro de los contenedores se realizó de la siguiente manera: en primer lugar, se colocaron 1500 gramos de residuos orgánicos (T1), seguidos de otros 1500 gramos de residuos orgánicos. A continuación, se añadieron 25 gramos de mezcla por muestra que contengan microorganismos benéficos.

Posteriormente, se agregaron dos capas de 1500 gramos de residuos orgánicos. Seguido de 25 gramos de MOBs, y así sucesivamente, siguiendo el mismo patrón para el tratamiento 1.

En el caso del (T2), se llevó a cabo la siguiente secuencia: se aplicaron dos capas de 1500 gramos de residuos orgánicos, seguidas de 25 gramos de MOBs y 25 gramos de Biochar. Posteriormente, se agregaron dos capas adicionales de 1500 gramos de residuos orgánicos, y así sucesivamente, siguiendo el mismo patrón para el tratamiento 2

En el caso del tratamiento (T3), se siguió el mismo proceso, donde se aplicaron dos capas de 1500 gramos de residuos orgánicos, seguidas de 25 gramos de biochar, y así sucesivamente.

Para el tratamiento (T4), testigo solo se aplicó 20000 gramos de residuos orgánicos. Finalmente, se evaluaron cuatro tratamientos diferentes. Uno de los tratamientos consistió únicamente en MOBs, mientras que otro tratamiento incluyó MOBs junto con biochar. Otro tratamiento se basó exclusivamente en el uso de biochar, y el último tratamiento consistió solo en residuos orgánicos.

3.9 Recolección y análisis de datos.

La recolección de datos se llevó a cabo durante un periodo de 42 días, desde la colocación de los residuos orgánicos, MOBs y biochar en los biorreactores. Estos biorreactores fueron sellados con una tapa plástica hermética, y durante este periodo se realizó la degradación de los residuos orgánicos de cada tratamiento.

La recopilación de datos se llevó a cabo diariamente, en intervalos de tiempo predefinidos para cada sensor. Se revisaron y se eliminaron los valores atípicos. Como resultado, se obtuvieron un total de 191855 datos válidos.

Se realizó un estudio de comparación de medias utilizando un análisis de varianza (ANOVA) y un análisis Kruskal-Wallis para evaluar los cuatro tratamientos. Además, se comprobó la distribución normal de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) mediante modelos lineales univariados preliminares para cada variable de interés en cada uno de los tratamientos.

3.10 Medición total de lixiviados y volumen de masa de los tratamientos.

Se realizó la medición de los lixiviados y las masas en los laboratorios del CIIT, que forma parte de la Universidad Católica de Cuenca. Luego, se procedió a medir la cantidad total de lixiviados en cada uno de los tratamientos establecidos previamente utilizando una probeta de 1000 ml.

Se utilizó una balanza electrónica para llevar a cabo el pesaje de la masa de los tratamientos, lo que permitió establecer el total de masa obtenida durante todo el proceso experimental ver en ANEXO 1.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Obtención de biochar de eucalipto (*Eucalyptus globulus*).

Se utilizaron 2267,9 gr de materia prima de eucalipto durante el proceso de obtención del biochar. En proceso se utilizó un reactor eléctrico, donde se realizó una única quema que duró 4 horas en un solo día. Como resultado de este proceso, se obtuvieron 456 gr de la biomasa utilizada.

En la Tabla 8, se muestran los resultados logrados en la producción de biochar a partir de eucalipto.

Tabla 8. Resultados obtenidos en la elaboración de biochar

Resultados obtenidos en la elaboración de biochar de eucalipto					
Materia prima utilizada	Cantidad de biomasa utilizada (gr)	Quema por días	Días	Total, de quemas	Peso final del biochar (gr)
Eucalipto (<i>Eucalyptus</i>)	2267,9 gr	1	1	1	456 gr

De acuerdo con la investigación llevada a cabo por Ordoñez, (2020), se menciona que se llevaron a cabo tres procesos de combustión de materia prima de eucalipto, los cuales resultaron en una producción de 2,2 kg de biochar. En este presente estudio la cantidad de biomasa utilizada fue de 2267,9 gr de materia prima de eucalipto y obtenido un total de 456 gr de biochar. Así mismo Ordoñez, (2020), señala que llevo a cabo dos quemas con duración de 4 horas.

Por otro lado, en el presente estudio solo se ejecutó la una quema por un día, en una duración de 3 a 4 horas. Polanco, (2021), indica que el biochar conseguido a partir de fuentes de materiales herbáceos contiene entre un 60,5% y un 66,7% de carbono, mientras que el biochar proveniente de materiales leñosos contiene entre un 74,5% y un 80% de carbono partir de estos valores, se puede inferir que por cada tonelada de biochar aplicado en el suelo, se puede capturar entre 0,61 y 0,80 toneladas de carbono. Por ende, la elaboración de biochar derivados de materiales leñosos, presenta mejores efectos, para el medio ambiente por presentar mayores cantidades de carbono.

Además, Pariona-Palomino et al., (2020), estiman que el biochar tiene la capacidad de capturar carbono, lo que podría generar emisiones negativas de alrededor de 0,7 GtCeq anualmente. Esta opción presenta varias ventajas en comparación con otras alternativas y, por lo tanto, podría contribuir a la reducción de las emisiones antropogénicas.

4.2 Resultados del análisis del biochar de eucalipto.

Los resultados del análisis de laboratorio correspondiente fueron determinados en el laboratorio MVS Lab, ubicado en la ciudad de Cuenca ver en Anexo 2.

Tabla 9. Resultado fisicoquímico del biochar

Parámetro	Unidad	Biochar
Azufre	%	0,2
Boro	mg/kg	< 0,01
Calcio	mg/kg	2,6
Carbonato orgánico total	%	18
Cobre	mg/kg	11
Fosfatos	%	0,505
Magnesio	%	3,6
Manganeso total	mg/kg	0,9
Nitrógeno total	%	0,63
pH	upH	7,3
Potasio	%	1,748
Sodio	%	0,138
Zinc	mg/kg	395

Fuente: (MSV Lab, 2023)

La Tabla 9 presenta los parámetros fisicoquímicos del biochar, donde se observa que su pH es de 7,3 lo cual indica que es neutro. Esto significa que el biochar no tiene un impacto significativo en términos de acidez o alcalinidad, ya que se encuentra cerca del punto neutro. Esta característica puede resultar beneficioso en determinados usos, ya que no provocará variaciones importantes en el pH del suelo u otros sistemas en los que se utilice. Según el autor Iglesias-Abad et al., (2020), menciona que cuando el pH del biochar es alto, es beneficioso para suelos ácidos, ya que actúa como un agente neutralizador de la acidez y tiene potencial para la remediación ambiental.

La cantidad total del nitrógeno presente en el biochar es del 0,63 %, tal y como se muestra en la Tabla 9. Esto sugiere que puede proporcionar una cantidad limitada de nitrógeno disponible para plantas, microorganismos o cualquier otro propósito. Es importante tener en cuenta que el contenido de nitrógeno en el biochar puede variar según su origen y el proceso de producción. Según Torres-Sallan et al., (2014), indican que los niveles de nitrógeno presentes en el biochar es de 0,4 %, por un proceso de pirólisis lenta. Iglesias-Abad et al., (2020), señalan que los niveles de nitrógeno de 0,31 % a 0,84 % con un proceso de pirolisis rápida con lignocelulosa de eucalipto.

El contenido de carbono orgánico en el biochar es un factor relevante, ya que puede tener un impacto en sus propiedades físicas y químicas, como su capacidad de retener agua y su habilidad para absorber nutrientes y entre otros aspectos. Guerra, (2014), indica que se encontraron valores de carbono en los ocho biochars analizados que oscilaron entre el 34,92 % y el 89,47 %. Además, en el estudio realizado por Iglesias-Abad et al. (2020), señalan que la cantidad de carbono orgánico total presente en el biochar no difiere significativamente de la que se encuentra en la biomasa de eucalipto, la cual es del 56 %. Por otro lado, se encontraron valores totales de carbono que oscilan

entre el 44,56% y 54,91%. Estos resultados respaldan la capacidad del biochar para retener una gran cantidad de carbono y mantener su estructura, como afirman (Iglesias et al., 2018).

En la Tabla 9 se presenta un contenido de carbonato orgánico total del 18%, lo cual indica que no cumple con los valores necesarios para considerarse un biochar, según lo señalado por (Escalante et al., 2016). Estos resultados revelan un incremento en el contenido de carbonato total orgánico. Es importante tener en cuenta ciertas características específicas al elaborar el biocarbón.

4.3 Determinación total de lixiviados y masas de cada biorreactor.

4.3.1 Determinación de masa.

La determinación de las masas se llevó a cabo utilizando una balanza digital, en la cual se registraron los datos correspondientes a cada uno de los tratamientos. Todos los tratamientos se realizaron bajo condiciones idénticas, es decir, en un ambiente prácticamente libre de humedad.

Con el objetivo de analizar el porcentaje de transformación de la masa a lo largo del proceso experimental, se realizó una comparación entre la masa inicial y la masa final. Los resultados de los pesos conseguidos se presentan en la Tabla 10.

Tabla 10.Valores iniciales y finales masa

Tratamiento	Peso inicial	Peso final
T1	20000g	3325.5 g
T2	20000g	4208.5 g
T3	20000g	4983.5 g
T4	20000g	4929.5 g

4.3.2 Determinación del volumen de lixiviados.

Con el objetivo de controlar la cantidad de líquido generado, se procedió a verificar el volumen utilizando probetas de 1000 ml. Se tuvo especial cuidado para evitar la mezcla entre tratamientos, registrando minuciosamente cada uno de ellos para evitar errores. Posteriormente, el producto fue desechado en un lugar seguro.

A continuación, en la Tabla 11 se detallan los volúmenes registrados de los tratamientos.

Tabla 11. Volumen final de lixiviados por cada tratamiento.

Tratamiento	Volumen total	Unidad
T1	3.951	ml
T2	2.902	ml
T3	3.500	ml
T4	3.601	ml

4.4 Análisis descriptivo de los resultados obtenidos de cada tratamiento.

4.4.1 Temperatura.

a. Distribución de datos de la temperatura.

En la Figura 31, se puede verificar que la variable de estudio exhibe diferencias notables en cuanto a su mediana, límite superior e inferior. No se identifican valores atípicos en la distribución. Además, en el histograma de la temperatura, se aprecia que la concentración de datos es mayor en los valores bajos.

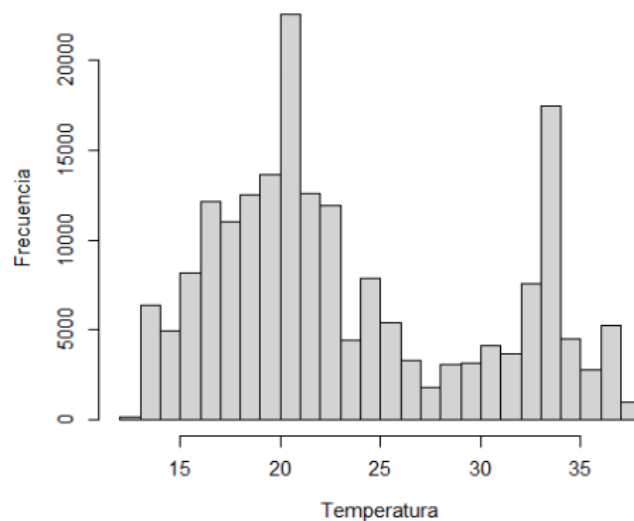


Figura 30 de temperatura de los tratamientos

Además, se observa que la frecuencia más alta supera los 15000 en una temperatura de 20°C, seguida de una frecuencia de 15000 pero a temperaturas entre 25°C y 29°C. Con una distribución normal.

4.4.2 Humedad.

Distribución de datos de la humedad.

En la Figura 32, se puede apreciar que la variable de estudio exhibe notables diferencias en cuanto a su mediana, límite superior e inferior. La distribución no muestra valores atípicos. Por otro lado, en el histograma de la humedad se observa que la mayor concentración de datos se encuentra en la parte superior y muestra un sesgo hacia la derecha.

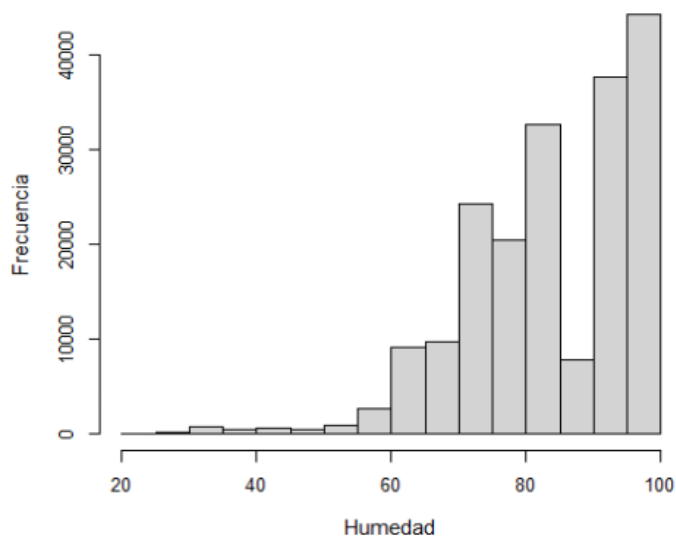


Figura 31: Histograma de humedad de los tratamientos

Además, se puede observar que la frecuencia más alta alcanza los 40000 en una humedad de 100, seguida de una frecuencia ligeramente menor de 40000 en una humedad de 99. Por otro lado, la frecuencia más baja se registra con un valor de 0, pero en un rango de humedad de 20 a 50.

4.4.3 Dióxido de Carbono CO₂.

Distribución de datos del dióxido de carbono.

En el diagrama de histogramas (Figura 33), se puede observar las disconformidades significativas en cuanto a la mediana, el límite superior e inferior de la variable de estudio. No se detectan valores atípicos en la distribución. Por otro lado, en el histograma del CO₂ se aprecia una concentración de datos notablemente mayor en la parte inferior, indicando un sesgo hacia la izquierda.

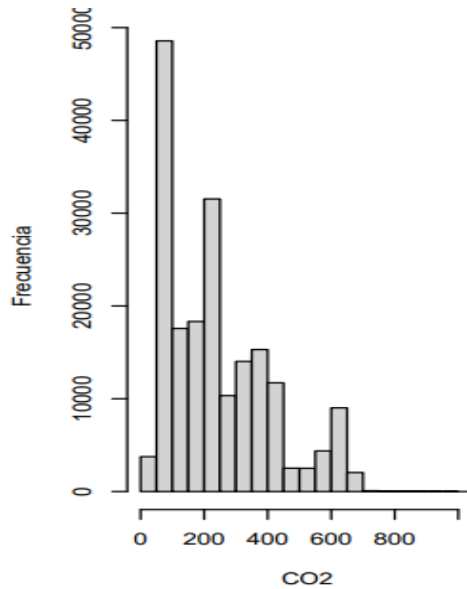


Figura 32: Histograma de CO₂ de los tratamientos.

Además, se observa que la frecuencia más alta se alcanza con un valor de 50000 en el rango de CO₂ entre 2 y 3 ppm. Le sigue una frecuencia ligeramente menor de 30000 cuando el CO₂ se encuentra entre 202 y 204 ppm. Por otro lado, la frecuencia más baja se registra con un valor de 2, pero en el rango de CO₂ de 605 ppm.

4.4.4 Metano CH₄.

Distribución de datos de metano.

En el diagrama de histogramas, se pueden apreciar diferencias significativas en relación a la mediana, el límite superior e inferior de la variable de estudio. No se observan valores atípicos en la distribución. Por otra parte, en el histograma del CH₄ se nota una concentración de datos considerablemente mayor en la parte inferior, lo que indica un sesgo hacia la izquierda. Esta tendencia se puede ver claramente en la Figura 34.

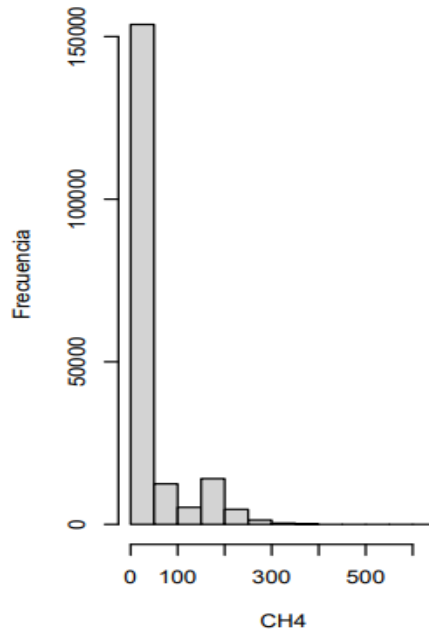


Figura 33: Histograma de CH₄ de los tratamientos.

La Figura 34, se puede analizar que la frecuencia más alta se alcanza con un valor de 150000 en el rango de CH₄ entre 0 y 50 ppm. Le sigue una frecuencia ligeramente menor de 50 cuando el CH₄ se encuentra entre 50 y 100 ppm. Por otro lado, la frecuencia más baja se registra con un valor de 0, pero en el rango de CH₄ de 250 a 300 ppm.

4.4.5 Amoniaco NH₃.

Distribución de datos del amoníaco.

En el diagrama de histogramas, se pueden apreciar diferencias significativas en cuanto a la mediana, el límite superior e inferior de la variable de estudio. No se detectan valores atípicos en la distribución. Por otro lado, en el histograma del NH₃ se observa una concentración de datos notablemente mayor en la parte inferior, lo que indica un sesgo hacia la izquierda. Esta tendencia se puede estimar claramente en la Figura 35.

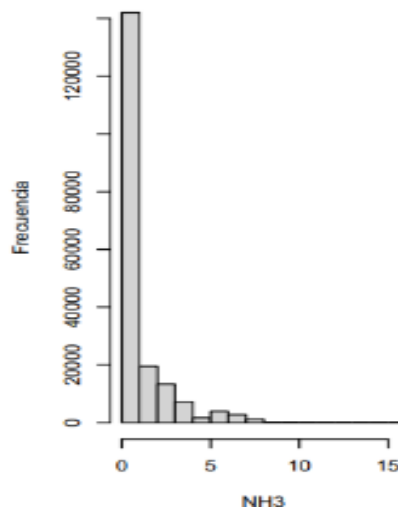


Figura 34: Histograma de NH₃ de los tratamientos.

En la Figura 35, se puede observar que la repetición más alta se alcanza con un valor superior a 120000 en el rango de NH₃ entre 0 y 5 ppm. Le sigue una frecuencia ligeramente menor de 20000 cuando el NH₃ se encuentra en 3 ppm. Por otro lado, la frecuencia más baja se registra con un valor de 1.5, pero en el rango de NH₃ entre 4 y 5 ppm.

Por tanto, durante el proceso se observaron diferentes comportamientos en los gases de efecto invernadero (GEI) como el CH₄, CO₂ y NH₃, así como en la temperatura y humedad, en los distintos tratamientos con y sin microorganismos beneficiosos, además de con y sin presencia de biochar. El CH₄ mostró una reducción significativa en los tratamientos con microorganismos beneficiosos y biochar (T1, T2, T3), mientras que el CO₂ presentó valores bajos en el tratamiento T1 y valores medianos en los cuatro tratamientos. El NH₃ presentó concentraciones bajas en los tres primeros tratamientos, pero experimentó un aumento significativo en el tratamiento T4 (residuos orgánicos).

4.5 Mediciones mediante gráficas de fluctuaciones.

4.5.1 Temperatura.

Durante la evaluación de la temperatura, medida en grados centígrados, durante el proceso de descomposición de la materia orgánica, se observa que la variación a lo largo del tiempo difiere entre los cuatro tratamientos. El 15 de abril, se registra un declive en la temperatura del tratamiento T1, mientras que en los demás tratamientos se mantiene una temperatura elevada.

En la Figura 36, se puede observar que para el 1 de mayo todos los tratamientos alcanzan una estabilización en sus temperaturas, que se mantienen hasta el 15 de mayo. Esto demuestra que los cuatro tratamientos establecidos exhiben una tendencia constante en cuanto a su temperatura.

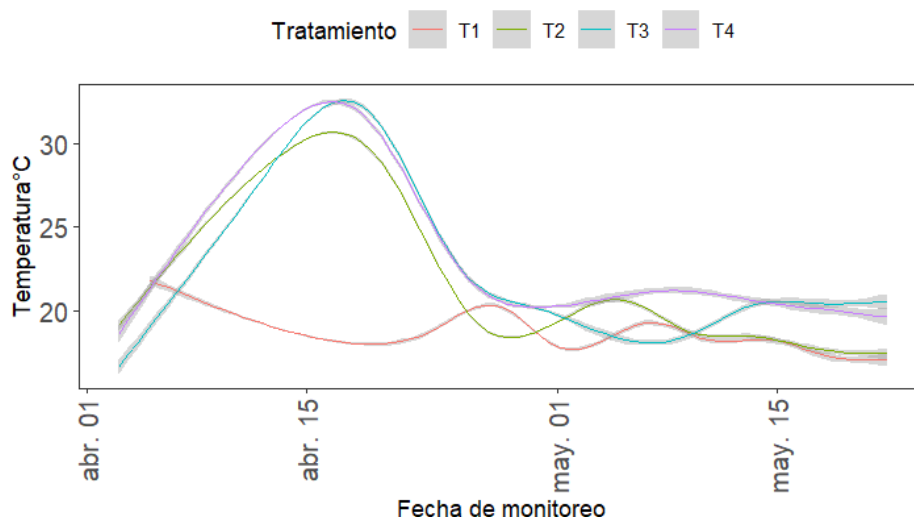


Figura 35: Fluctuaciones en la temperatura. Las líneas de distintos colores representan la media de cada tratamiento

Cabe indicar que el aumento de temperatura se empezó a distinguir después de una semana, momento donde los microorganismos benéficos comienzan a exhibir una actividad biológica, ya que se están reproduciendo y multiplicándose. Es esencial adquirir conocimientos acerca de la dinámica de las diversas comunidades microbianas a fin de comprender los distintos mecanismos de supervivencia y, en particular, cómo interactúan con los gases de efecto invernadero (GEI), ya que el presente estudio se han evidencia un aporte positivo en la reducción de CO₂ y CH₄ en grandes cantidades, mientras que el NH₃ los niveles de reducciones fueron mínimos. Estudios previos han corroborado la reducción de los GEI como consecuencia de estas prácticas. (Vidal-Espinosa et al., 2023) indica que mediante la aplicación de microorganismos beneficiosos se ha evidencia la reducción de CH₄. Pero también se encontró que la adición de microorganismos eleva el volumen de biogás.

4.5.2 Humedad.

Según los registros de humedad, se puede observar que el tratamiento T1 muestra un nivel del 90 % el 1 de abril. Posteriormente, experimenta una ligera disminución el 15 de abril, y para el 1 de mayo vuelve a alcanzar un nivel de humedad del 90 %.

En el tratamiento T2, se observa que el 1 de abril hay un ligero descenso de la humedad, quedando por debajo del 70 %. Sin embargo, para el 15 de abril se registra un aumento significativo, superando el 80 % de humedad. En el mes de mayo, específicamente el 1 de mayo, se produce un pequeño descenso en los niveles de humedad como de visualiza en la Figura 37.

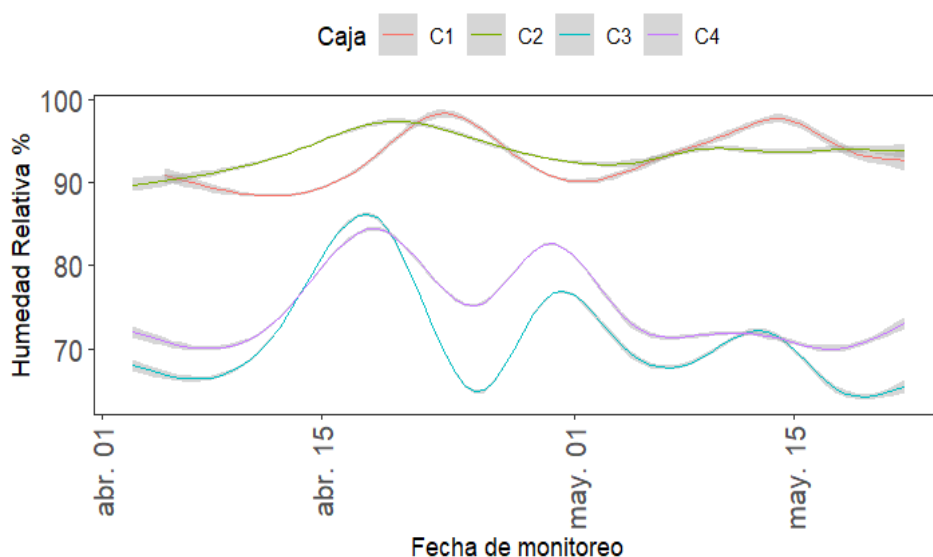


Figura 36: Fluctuaciones en la humedad. Las líneas de distintos colores representan la media de cada tratamiento

En cuanto al tratamiento T3, se observa una tendencia ascendente desde el 1 de abril. Sin embargo, el 15 de abril se registra un descenso, alcanzando aproximadamente un 97 % de humedad. Posteriormente, el 1 de mayo se produce otro descenso en la humedad, llegando casi al 90 %, y se mantiene estable hasta el 15 de mayo.

En el tratamiento T4, se observa que el 1 de abril se produce un ligero aumento en los niveles de humedad, alcanzando aproximadamente un 72 %. No obstante, el 15 de abril se registra un incremento significativo, superando el 80 % de humedad. Durante el 1 de mayo, se observa un aumento en la humedad de aproximadamente un 82 %, seguido de un descenso que llega hasta el 70 %. Además, en relación a la humedad, T1 mostró niveles constantes del 90% el 1 de abril y el 1 de mayo, con una ligera disminución el 15 de abril. En cambio, T2 experimentó un ligero descenso el 1 de abril, un aumento significativo el 15 de abril y un pequeño descenso el 1 de mayo. Estos resultados indican variaciones en los niveles de humedad entre los tratamientos a lo largo del tiempo.

4.5.3 Dióxido de carbono.

El análisis del comportamiento del dióxido de carbono a lo largo del período incluido entre el 1 de abril y el 15 de mayo revela que los distintos tratamientos no presentaron un patrón uniforme en lo que respecta a los niveles de dicho gas.

En la semana del 15 de abril, se evidencia que el tratamiento T4 exhibe la concentración más elevada. No obstante, en la semana del 1 de mayo, experimenta un descenso, a diferencia de los demás tratamientos que se mantienen estables a lo largo del periodo analizado como se observa en la Figura 38.

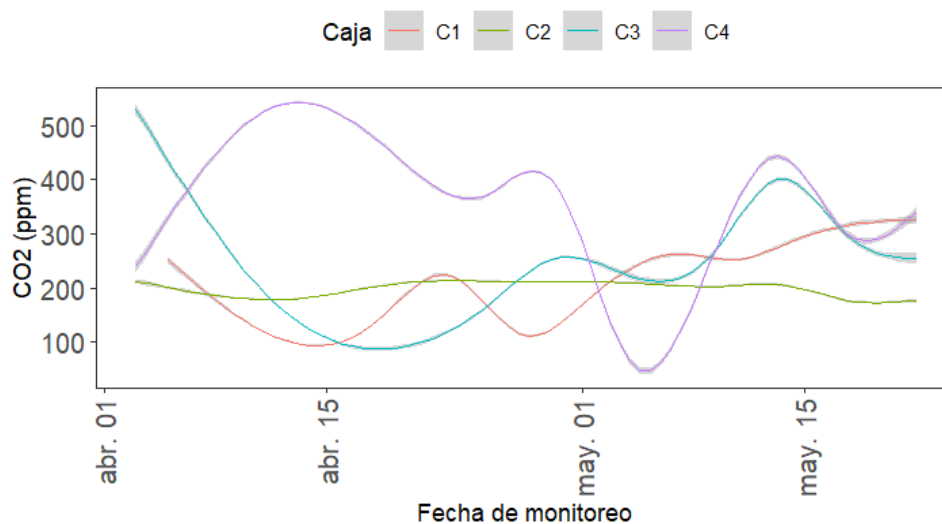


Figura 37: Fluctuaciones en el dióxido de carbono CO₂. Las líneas de distintos colores representan la media de cada tratamiento.

El dióxido de carbono reveló que los diferentes tratamientos no presentaron un patrón uniforme en los niveles de este gas. En la semana del 15 de abril, T4 exhibió la concentración más elevada, pero experimentó un descenso en la semana del 1 de mayo, mientras que los demás tratamientos se mantuvieron estables.

La aplicación de biochar ha demostrado resultados positivos en la reducción de gases de efecto invernadero, tanto en los tratamientos T2 como T3 con respecto al dióxido de carbono y metano, existiendo una disminución significativa en comparación al tratamiento T4. Con un mayor nivel de descenso de CH₄, posteriormente le sigue el CO₂ con un valor máximo de 200 ppm en comparación al tratamiento T4 con un máximo de 450 ppm. Para el amoníaco NH₃ se evidencia que para el tratamiento T2 aplicando microorganismos beneficiosos más biochar, existe un aporte positivo ya que el nivel de reducción sumamente significativa llegando como máximo hasta 0,2 ppm.

Por otro lado, el tratamiento T3 con la aplicación de biochar los niveles de reducción del amoníaco NH₃, no fueron tan significativos, llegando como máximo hasta los 1,2 ppm. Pariona-Palomino et al., (2020), menciona que se ha destacado que la utilización del biochar como una estrategia de mitigación ante el cambio climático ha resultado exitosa y sostenible. Esta tecnología ha demostrado generar menores impactos en el medio ambiente, contribuyendo así a la reducción de CO₂ y al cumplimiento del Acuerdo de París, el cual busca mantener el aumento de la temperatura por debajo de 1,5 °C en comparación con los niveles preindustriales.

4.5.4 Metano.

Basándonos en la evolución del metano, se puede comprobar que el tratamiento T1 muestra niveles constantes y bajos desde el 1 de abril hasta el 1 de mayo. Sin embargo, se observa una liviana disminución en los niveles de metano del 1 de mayo al 15 de mayo.

En relación al tratamiento T2, se observa que el 1 de abril experimentó un ligero aumento, sin embargo, para el 15 de abril hubo un descenso en los niveles de metano. A partir del 1 de mayo, los valores volvieron a aumentar y se mantuvieron con el mismo sentido hasta el 15 de mayo en cuanto al metano como se verifica en la Figura 3

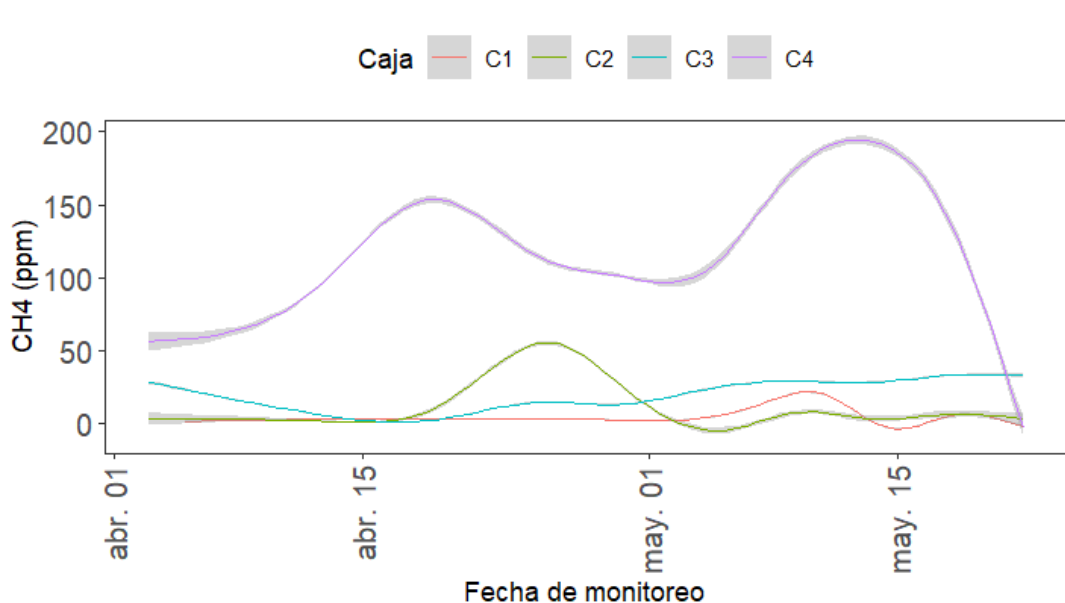


Figura 38: Fluctuaciones en el metano CH₄. Las líneas de distintos colores representan la media de cada tratamiento.

En la figura 39, se puede observar que durante el tratamiento T3, los niveles de metano se mantienen en valores bajos a partir del 1 de abril. Sin embargo, a partir del 15 de abril comienzan a aumentar, alcanzando los 50 ppm. Después de esto, se nota una disminución gradual a partir del 1 de mayo, manteniendo un nivel constante hasta el 15 de mayo.

En relación al tratamiento T4, se puede observar que, a partir del 1 de abril, los niveles de metano son elevados, oscilando entre 50 ppm y 150 ppm para el 15 de abril. Sin embargo, el 1 de mayo se registra una ligera disminución que alcanza solo los 100 ppm. No obstante, posteriormente se produce un incremento notable, llegando a su punto máximo con más de 180 ppm para el 15 de mayo.

4.5.5 Amoníaco.

En la figura 40 se puede apreciar que en el tratamiento T1, a partir del 01 de abril, los niveles de amoníaco se mantienen constantes en 0 ppm, permaneciendo en el mismo rango. Sin embargo, para el 15 de mayo, se observa un ligero aumento en los niveles de amoníaco.

En la Figura 40 la relación al tratamiento T2, se puede observar que el 1 de abril los niveles de amoníaco son muy bajos, y para el 15 de abril experimentan un aumento, alcanzando hasta 2 ppm. Posteriormente, los niveles de amoníaco disminuyen y se estabilizan hasta el 15 de mayo.

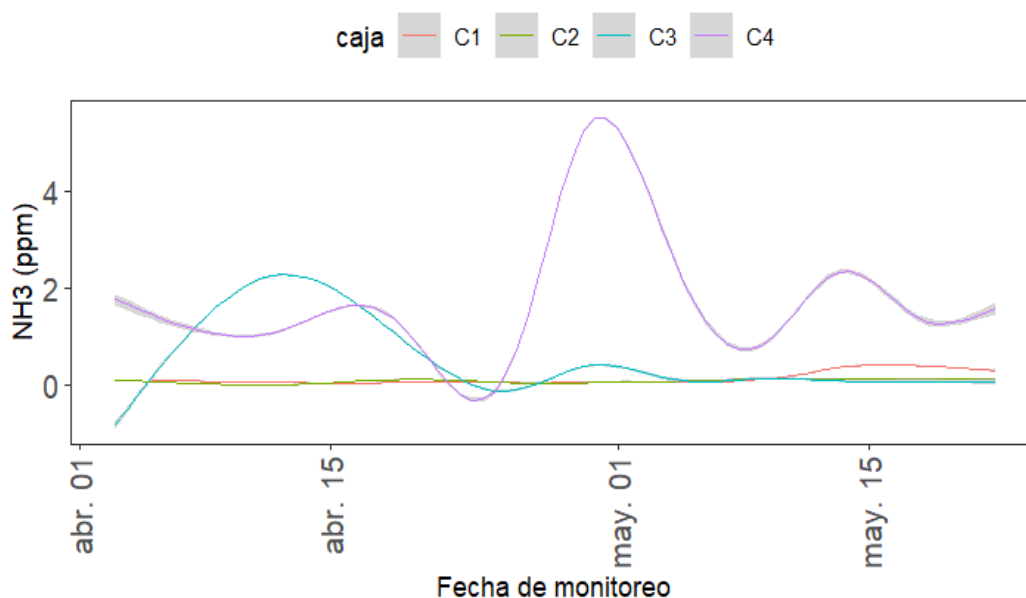


Figura 39: Fluctuaciones en el amoníaco NH₃. Las líneas de distintos colores representan la media de cada tratamiento

En el caso del tratamiento T3, según se aprecia en la Figura 40, los niveles de amoníaco se mantienen constantes en 1.5 ppm desde el 1 de abril hasta el 15 de mayo. Por otro lado, el tratamiento T4 exhibe los niveles más elevados de amonio. El punto máximo se alcanza el 1 de mayo, superando los 4 ppm, mientras que el nivel más bajo se registra entre el 15 de abril y el 1 de mayo, con un valor de 2 ppm.

4.6 Comparación entre tratamientos mediante diagrama de barras.

4.6.1 Dióxido de carbono.

Utilizando un diagrama de barras, se verificaron los niveles de dióxido de carbono (CO₂) después de un periodo de experimentación de 42 días. Se observó que el tratamiento T1 donde se aplicaron microorganismos benéficos, el nivel de CO₂ era de 150 ppm.

Además, en el tratamiento T2 donde se aplicó microorganismos benéficos y biochar, se pudo verificar que presentaba un valor de 200 ppm de CO₂. Al igual que en el tratamiento anterior, este experimento también tuvo una duración de 42 días.

Posteriormente, en el tratamiento T3, que consistió en la aplicación de biochar. Como se puede verificar en la Figura 41, los niveles de dióxido de carbono CO₂. Alcanzaron aproximadamente los 190 ppm.

En el tratamiento T4 que representa el grupo de control o testigo, se evidenció que los niveles de CO₂ alcanzaron hasta los 450 ppm.

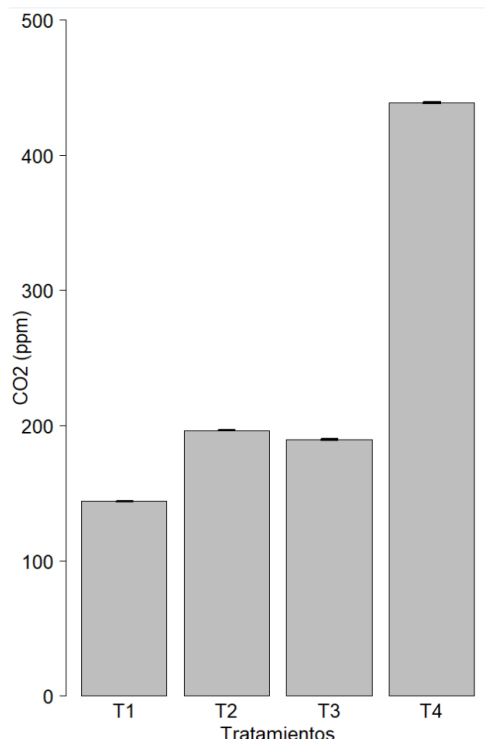


Figura 40: Niveles de dióxido de carbono

De los resultados obtenidos al utilizar un diagrama de barras para evaluar los niveles de dióxido de carbono (CO₂) tras un período de experimentación de 42 días, se pueden deducir lo siguiente.

El tratamiento T1 consistió en aplicar microorganismos beneficiosos, lo cual resultó en un nivel de CO₂ de 150 ppm. Esto sugiere que la presencia de estos microorganismos tuvo un impacto

positivo al reducir los niveles de CO₂. Por otro lado, el T2 se aplicó microorganismos benéficos y biochar, lo cual se tradujo en un valor de CO₂ de 200 ppm.

Aunque este nivel es mayor que el del tratamiento T1, es posible que el biochar haya contribuido a mitigar en cierta medida los niveles de CO₂ en comparación con el grupo de control.

En el tratamiento T3, se aplicó biochar el que resultó que los niveles de CO₂ aproximados de 190 ppm. Esto sugiere que el biochar podría haber tenido un resultado moderado en la disminución de los niveles de CO₂. Por último, en el grupo de control o tratamiento T4, se observó que los niveles de CO₂ alcanzaron hasta los 450 ppm. Esto indica que sin la aplicación de microorganismos beneficiosos ni biochar, los niveles de CO₂ se mantuvieron más altos.

4.6.2 Metano.

En cuanto al metano (CH₄), los resultados mostrados en la Figura 42 revelan que en el tratamiento T1 donde se aplicaron microorganismos benéficos, se registraron niveles de metano de hasta 5 ppm. Por otro lado, el tratamiento T2 con la aplicación de microorganismos benéficos y biochar, se observó que los niveles de metano alcanzaron hasta 15 ppm.

En el tratamiento T3, donde se aplicó biochar, se evidenció que los niveles de metano alcanzaron aproximadamente 14 ppm.

El último tratamiento T4 o grupo de control, en el cual se observaron los niveles más altos de metano, alcanzando un valor de 120 ppm durante el período de experimentación de 42 días.



Figura 41: Niveles de metano.

Los resultados obtenidos en relación al metano (CH₄) revelan variaciones en los niveles según los distintos tratamientos aplicados. En el T1, logrando una reducción significativa de los niveles de

metano, con solo 5 ppm registrados. El tratamiento T2 con la aplicación de microorganismos benéficos y biochar, se observó un aumento en los niveles de metano, alcanzando hasta 15 ppm.

Por otro lado, en el tratamiento T3, se logró mantener los niveles de metano en alrededor de 14 ppm, lo que indica un efecto moderado de reducción. En comparación, en la caja 4 que representaba el grupo de control o tratamiento T4, se registraron los niveles más altos de metano, llegando a 120 ppm.

4.6.3 Amoníaco.

En la Figura 43 se puede observar que el T1 con la aplicación de microorganismos benéficos, se registran niveles de amoníaco NH_3 cercanos a 0.2 ppm aproximadamente.

En cambio, el tratamiento T2, donde se utilizó microorganismos benéficos y biochar, se puede observar que los niveles de amoníaco NH_3 son aproximadamente de 0.1 ppm.

En el tratamiento T3 y donde se aplicó biochar, se registraron niveles de amoníaco NH_3 de aproximadamente 1.2 ppm. En la caja 4 o grupo de control, se observaron niveles de amoníaco superiores a los de los demás tratamientos, con un valor de 2.2 ppm.

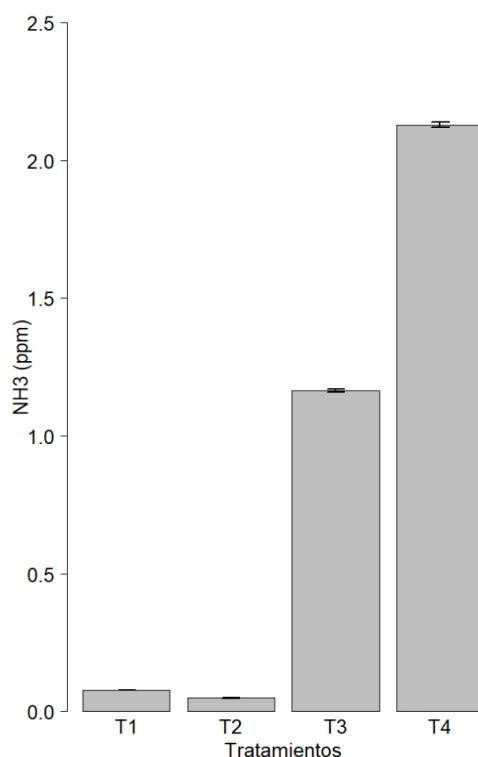


Figura 42: Niveles de amoníaco, presentes en las cuatro cajas

En el T1 con la aplicación de microorganismos benéficos, se detectaron niveles de amoníaco cercanos a 0,2 ppm, lo que indica una disminución significativa en comparación con el grupo de control.

Por otro lado, el T2 utilizando microorganismos benéficos y biochar, se observó una ligera reducción en los niveles de amonio, registrando aproximadamente 0,1 ppm en relación con el grupo de control.

En el tratamiento T3 donde se utilizó biochar, se evidenció una mayor presencia de amoníaco, con niveles alrededor de 1.2 ppm en relación con los tratamientos T1 y T2.

En contraste, en el tratamiento T4, se observaron los niveles más altos de amoníaco alcanzando 2,2 ppm. Esto confirma la importancia de los tratamientos empleados en la reducción de los valores de amoníaco. En un estudio realizado por Reyes-Ordoñez et al. (2020), también se menciona una disminución en las emisiones de gas amoníaco, aunque se observaron algunos picos que deben ser analizados. Aparentemente, se liberó gas amoníaco que había estado encapsulado como una burbuja de aire en la basura. En cualquier caso, se puede apreciar una reducción promedio del 35,17% en las emisiones de amoníaco, el cual es una forma contaminante que afecta al medio ambiente y a la calidad de vida de las personas debido a su impacto en la salud.

4.7 Diagrama de cajas de los cuatro tratamientos.

4.7.1 Diagrama de cajas de temperatura.

En la Figura 44, se observan los niveles de temperatura registrados durante el proceso experimental. Es trascendental enfatizar que no se observaron datos atípicos en ninguno de los tratamientos determinados. En cuanto al tratamiento T1, en donde aplicó microorganismos benéficos la temperatura se puede apreciar que presenta valores más favorables en comparación con los otros tratamientos. Los datos mínimos registrados son inferiores a 15 °C, mientras que los máximos se sitúan alrededor de los 28 °C. La media oscila alrededor de los 18 °C.

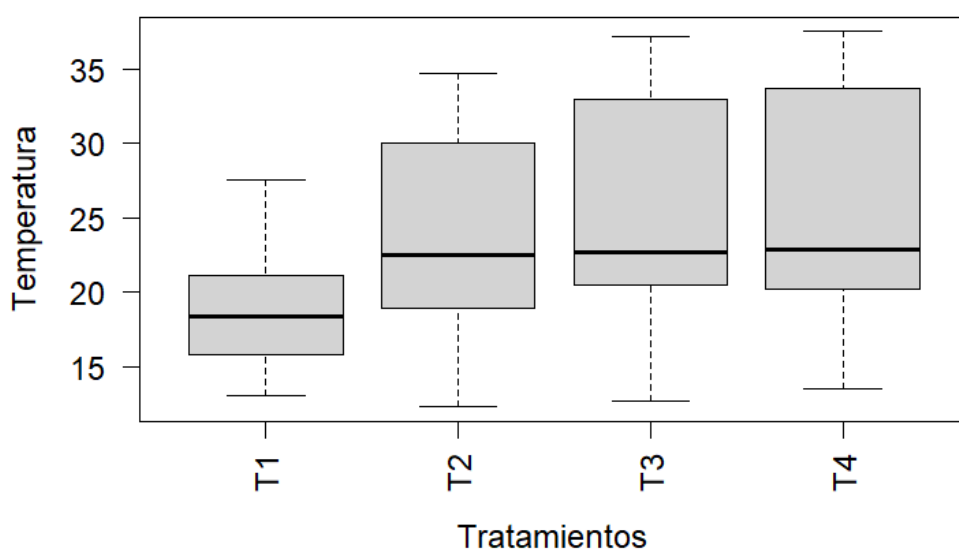


Figura 43: Diagrama de caja de la temperatura en los cuatro tratamientos

Por otro lado, en el tratamiento T2 se observa que los valores mínimos son inferiores a 15 °C, pero los máximos alcanzan los 35 °C, donde se utilizó microorganismos benéficos y biochar, y se

puede notar una concentración de datos en la parte superior. En el tratamiento T3 se evidencia que los valores mínimos son inferiores a 15 °C, mientras que los máximos superan los 36 °C. En este tratamiento, se aplicó biochar. La media de temperatura registrada fue de 22 °C. En cuanto al tratamiento T4, correspondiente al grupo de control o testigo, se observa un valor mínimo de temperatura de °C y valores superiores a 36 °C. La media registrada en este caso fue de 23 °C.

4.7.2 Diagrama de cajas de la humedad.

En la Figura 45, se muestra la humedad relativa. En el tratamiento T1, correspondiente a la aplicación de microorganismos benéficos, se registra un valor mínimo de 87 % y un valor máximo de 98 %.

La media de humedad relativa se sitúa alrededor del 95 %. En el tratamiento T2, donde se utilizó microorganismos benéficos y biochar, se observan valores mínimos de 86 % y una media aproximada de 94 %. En el tratamiento T3, donde se aplicó biochar, se registraron valores mínimos de 51 % y valores máximos de 99 %.

La media de humedad relativa en este tratamiento fue de aproximadamente 75 %. En tratamiento T4, representa el tratamiento testigo, el cual presenta un valor mínimo de humedad relativa de 58 % y un valor máximo de 98 %. La media de humedad relativa en este caso es de 80 %. Se puede observar una concentración de datos en la parte inferior de la caja.

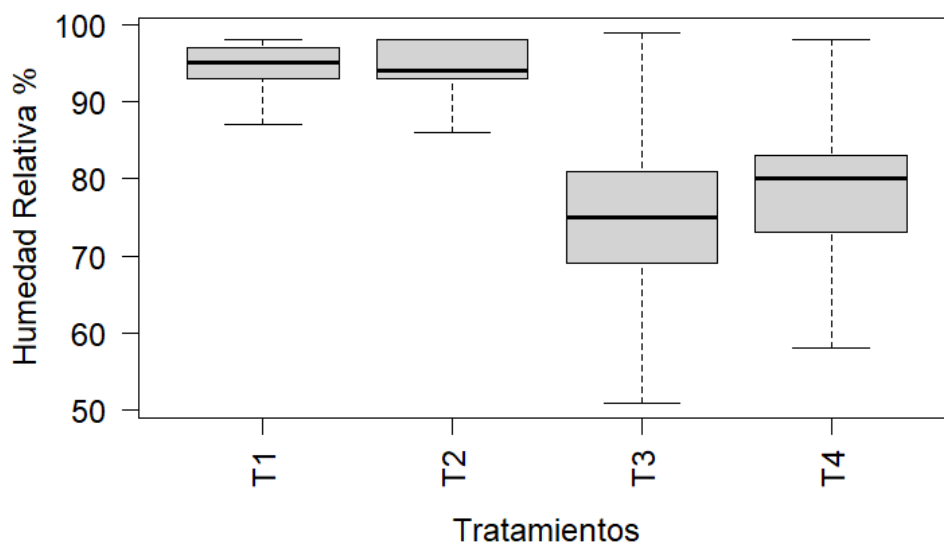


Figura 44: Diagrama de cajas de la humedad de los cuatro tratamientos.

4.7.3 Diagrama de cajas del dióxido de carbono CO₂.

En la Figura 46, se observan los diferentes niveles de dióxido de carbono (CO₂). En el T1 donde se empleó el uso de microorganismos benéficos, se puede apreciar un valor mínimo de 90

ppm y un valor máximo de 402 ppm, con una media de 150 ppm. En el T2 con la aplicación de microorganismos benéficos y biochar, se evidencia una media de aproximadamente 200 ppm. En el T3 con la aplicación de microorganismos benéficos, se registra un mínimo de 90 ppm y un máximo de 700 ppm, con una media de 150 ppm. En el último tratamiento T4, se observa un mínimo de 100 ppm y un máximo que supera los 800 ppm.

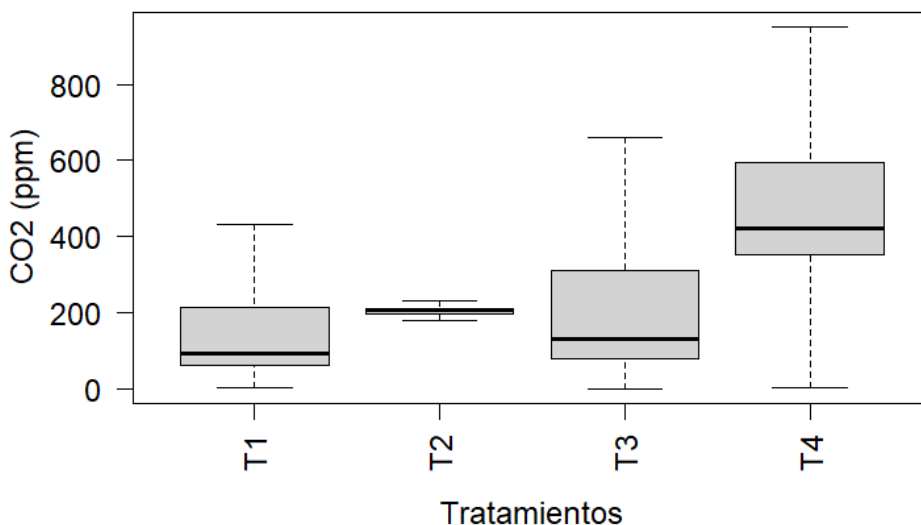


Figura 45:Diagrama de cajas del dióxido de carbono en los cuatro tratamientos

4.7.4 Diagrama de cajas del metano CH₄.

En la Figura 47, se presentan los valores correspondientes al metano (CH₄). En el tratamiento T1 y tratamiento T2, que representan los tratamientos con microorganismos benéficos y biochar, respectivamente, se observa que ambos presentan una media de 90 ppm.

Además, en el tratamiento T3, correspondiente con la aplicación de biochar, se observa un valor máximo de 50 ppm y una media de 15 ppm. Se puede notar una acumulación de datos en la parte inferior de la caja.

Por último, en el tratamiento T4 como grupo de control o testigo, se visualiza en la Figura 47 que los valores de metano CH₄ varían desde un mínimo de 85 ppm hasta un máximo superior a 300 ppm. La media de este tratamiento es de 100 ppm.

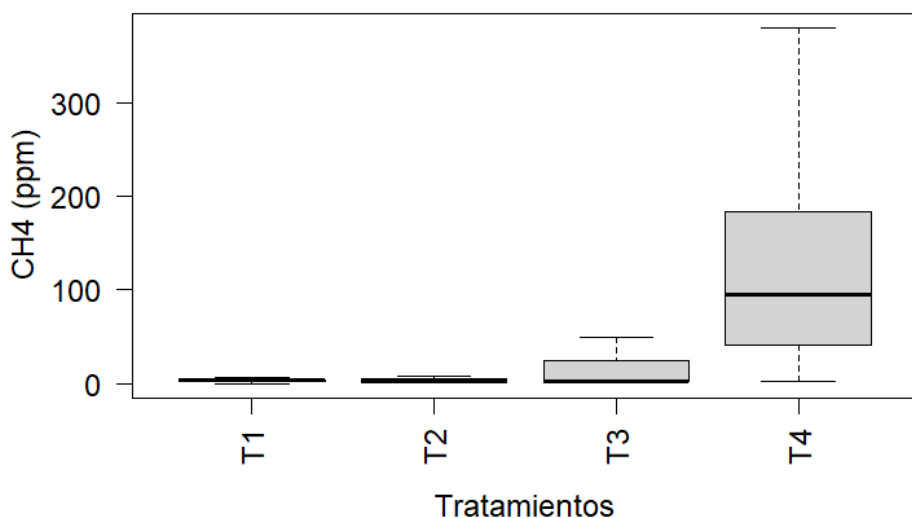


Figura 46:Diagrama de cajas del metano en los cuatro tratamientos

4.7.5 Diagrama de cajas del amoníaco NH₃.

En el gráfico 48, se pueden apreciar los niveles de amoníaco NH₃. En el tratamiento T1, se observa que el valor medio del amoníaco NH₃ es de 100 ppm. En el tratamiento T2, también se registra una concentración media de 1.5 ppm de amoníaco NH₃.

En el tratamiento T3, donde se aplicó biochar, se verifica que los valores mínimos del amoníaco NH₃ son de 2 ppm, mientras que los máximos superan los 5 ppm, con una media de 3 ppm. Por último, en el tratamiento T4 se registran valores mínimos de 0 ppm y máximos de 4,80 ppm, con una media de 5 ppm como se visualiza en la Figura 48

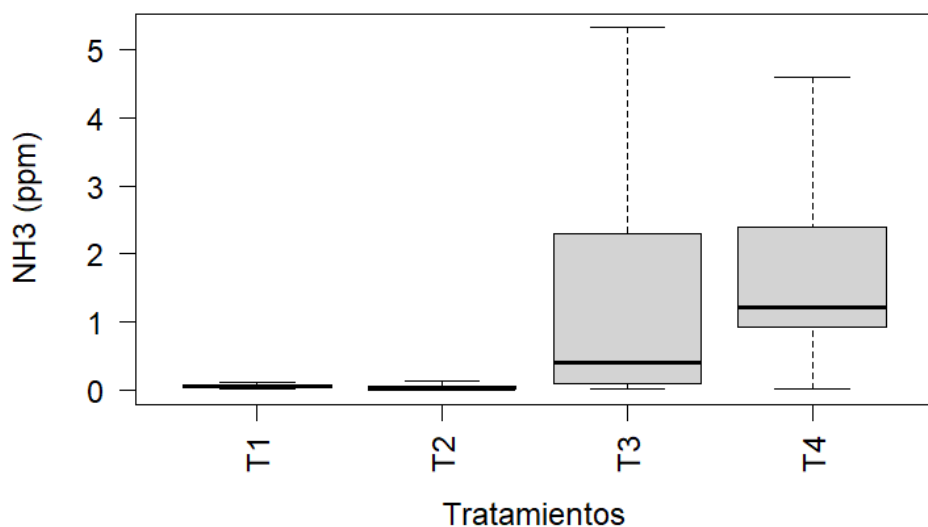


Figura 47:Diagrama de cajas del amonio de los cuatro tratamientos

La aplicación de biochar ha demostrado resultados positivos en la reducción de gases de efecto invernadero, tanto en los tratamientos T2 como T3 con respecto al dióxido de carbono y metano, existiendo una disminución significativa en comparación al tratamiento T4. Con un mayor nivel de descenso de CH₄, posteriormente le sigue el CO₂ con un valor máximo de 200 ppm en

comparación al tratamiento T4 con un máximo de 450 ppm. Para el amoníaco NH₃ se evidencia que para el tratamiento T2 aplicando microorganismos beneficiosos más biochar, existe un aporte positivo ya que el nivel de reducción sumamente significativa llegando como máximo hasta 0,2 ppm. Por otro lado, el tratamiento T3 con la aplicación de biochar los niveles de reducción del amoníaco NH₃, no fueron tan significativos, llegando como máximo hasta los 1,2 ppm. Pariona-Palomino et al., (2020), menciona que se ha destacado que la utilización del biochar como una estrategia de mitigación ante el cambio climático ha resultado exitosa y sostenible. Esta tecnología ha demostrado generar menores impactos en el medio ambiente, contribuyendo así a la reducción de CO₂ y al cumplimiento del Acuerdo de París, el cual busca mantener el aumento de la temperatura por debajo de 1.5 °C en comparación con los niveles preindustriales.

Además, Galinato et al., (2011), indica que el principal efecto del biochar en los gases de efecto invernadero (GEI) consiste en prevenir las emisiones que se habrían generado si la biomasa se hubiera dejado descomponer naturalmente. En términos de la materia prima herbácea y leñosa utilizada, se observa un aumento en el contenido de carbono, que va desde un 60,5% hasta un 66,7%. Se estima que, con estas cantidades aplicadas al suelo, los niveles de captura de carbono oscilan entre 0,61 y 0,80 toneladas de carbono

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos en el presente estudio, se establecen las siguientes conclusiones.

- La aplicación de microorganismos benéficos en los tratamientos establecidos, específicamente en el tratamiento T1, demostró una disminución significativa del 75 % en los niveles de metano (CH₄) y dióxido de carbono CO₂ en residuos vegetales, alcanzando niveles tan bajos como 1,5 ppm, así como una reducción constante del amonio (NH₃) manteniéndose aproximadamente en 1,9 ppm.
- La combinación de biochar y microorganismos tuvo un impacto significativo en los niveles de gases atmosféricos. Se observó que en los niveles de dióxido de carbono (CO₂) se presentó una reducción del 60 % mientras, que en el metano CH₄ hubo una disminución 80%, verificando la efectividad del tratamiento. Con respecto al amoniaco (NH₃), los niveles de disminución fueron el 85 % en comparación con los otros gases.
- La adición de microorganismos beneficiosos y biochar ha demostrado reducir los gases de efecto invernadero. Estos elementos han tenido un impacto significativo en la degradación de la materia orgánica y en la disminución de los gases de efecto invernadero en los tratamientos T1, T2 y T3 los niveles a comparación del testigo se redujeron significativamente en comparación.
- El uso de microorganismos benéficos ha demostrado ser una opción sostenible para reducir los gases de efecto invernadero, ya que estos microorganismos desempeñan un papel crucial en varias etapas de degradación de la materia orgánica proveniente de residuos sólidos orgánicos. Ya que los microorganismos que interviene más en este proceso son las *Pseudomonas*, *actinomicetos* entre otros por poseer capacidad de degradar residuos.

CAPÍTULO VI

6. RECOMENDACIONES

Con las conclusiones planteadas se establecen las siguientes recomendaciones:

- En futuros estudios, se recomendaría hacer un análisis de laboratorio del digestato final, para así poder verificar que características presenta. Así mismo, realizar un análisis de laboratorio, para verificar el contenido de lixiviados.
- Utilizar otro tipo de biomasa y analizar si ocurre alguna reacción con los gases de efecto invernadero GEI. Y también verificar que ocurre la mezcla de biochar con otro componente de lignocelulosa y tener más tratamientos para monitorear.
- Se recomienda emplear fundas de gel de sílice en el biorreactor con el fin de proteger los sensores y prevenir la acumulación de humedad en su entorno. Esto garantizará el correcto funcionamiento de los sensores y evitará posibles fallos en su operatividad.
- Se recomienda ampliar el alcance del experimento mediante la inclusión de un mayor número de sensores, así como aumentar el número de repeticiones de los tratamientos realizados.
- Por otro lado, se recomienda también llevar a cabo el experimento con mayores volúmenes, esto ayudará a observar los cambios de la materia en condiciones más reales y así aportar a la investigación sobre la medición de los GEI en la degradación de residuos vegetales con diferentes adiciones.
- Es fundamental considerar que el reactor utilizado se encuentre en buenas condiciones al momento de proceder la quema de la biomasa y asegurarse de que esté en buen estado antes de proceder, con el fin de obtener resultados eficaces.
- También hay que recalcar que se debe considerar que el reactor que se utilizó, ya ha sido utilizado anteriormente para producir biochar, por ende se ha generado un desgaste en la tapa de la cápsula del reactor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agroecología, áreas verdes. (2015). *Cómo es la vida en el suelo*. <https://esfacilserverde.com/portal25/temas-verdes/23-temas-verdes/agroecologia/196-como-es-la-vida-en-el-suelo>
- Alamy. (2018). *Reducción de residuos plásticos en bio-papeleras': en la eliminación de residuos Freimann parque del Abfallwirtschaftsbetrieb München (AWM)*. <https://www.alamy.es/tema-reduccion-de-residuos-plasticos-en-bio-papeleras-en-la-eliminacion-de-residuos-freimann-parque-del-abfallwirtschaftsbetrieb-munchen-awm-el-plastico-se-clasifican-manualmente-de-los-residuos-organicos-en-un-gran-gasto-traduccion-automatica-image334189095.html>
- Alvarez-Vera, M. S. (2018). *Caracterización de microorganismos benéficos provenientes de tres pisos altitudinales de Azuay- Ecuador y su influencia en el cultivo de Fresa*.
- Andalucía, F. de E. de C. O. de. (2010). El Efecto Invernadero. *Revista Digital Para Profesionales de La Enseñanza*, N° 7.
- Arévalo, R. D. E. (2019). *Obtención de biochar a partir de la biomasa de podas forestales de la zona urbana de la ciudad de Cuenca* [Universidad Católica de Cuenca]. https://dspace.ucacue.edu.ec/bitstream/ucacue/8183/1/AREVALO_RENDON_DIEGO_ESTEBAN.pdf
- Banguera, E. H. D. (2021). *Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de las actividades realizadas por una consultora ambiental, mediante el calculo de la huella de carbono*.
- Barrera, L. P., & Otacoma, T. L. (2017). *Pruebas piloto para una planta de separación y recuperación de materiales a partir de residuos sólidos indiferenciados del cantón Cuenca, provincia del Azuay*. Universidad del Azuay.
- BIONIKA, L. (2020). *Análisis de contenidos bioquímicos*.
- Carmona, J. C., Bolívar, D. M., & Giraldo, L. A. (2005). El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 18(1), 49–63.
- Cartes, G. (2013). Degradación de suelos agrícolas y el SIRSD - S. *Oficina de Estudios y Políticas Agrarias*, 1–6. www.odepa.gob.cl
- Cely, P. P. A. (2016). *Evaluación del uso de residuos orgánicos para la producción de biochar y su aplicación como enmienda orgánica*. <http://jurtek.akprind.ac.id/bib/rancang-bangun-website-penyedia-layanan-weblog>
- CMNUCC. (2017). Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. *Choice*

- Reviews Online*, 50(07), 26. <https://doi.org/10.5860/choice.50-3868>
- Codeverde, I. (2019). *Información discusión y análisis para el desarrollo sustentable*. <https://codexverde.cl/solo-un-15-de-los-municipios-gestiona-sus-residuos-organicos/>
- Constitución de la República del Ecuador, C. (2008). Constitución del Ecuador. *Alteridad*, 2(2), 74. <https://doi.org/10.17163/alt.v2n2.2007.04>
- Coronel, R. C., & Vargas, R. J. (2020). *Caracterización de residuos generados por la actividad comercial en el centro Histórico de la ciudad de Cuenca y rediseño de rutas de los recicladores 2019*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18917/1/UPS-CT008808.pdf>
- Costa, M. (2006). Gestión integral de residuos. *Universidad de Costa Rica*, 99. http://www.resol.com.br/cartilhas/manual_de_gestion_integral_de_residuos.pdf
- Departamento de asuntos regulatorios y europeos, C. (2019). *Informe de situación sobre la cumbre del clima de Madrid*. 1–12.
- Díaz, C. G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y Sociedad*, XXXVII(2), 227–240.
- EM Organization. (2019). Guía de la tecnología de microorganismos eficientes. *Emprotec*, 36.
- EMAC-EP. (2019). *Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca EMAC EP*.
- Escalante, A., Pérez, G., Hidalgo, C., López, J., Campo, J., Valtierra, E., & Etchevers, J. (2016). Biocarbón (biochar) I: naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34, 16. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v34n3/2395-8030-tl-34-03-00367.pdf>
- Espíndola, C. A., & Valderrama, J. O. (2011). Huella del Carbono. In *Scielo* (Vol. 23, Issue 02). <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v23n1/art17.pdf>
- Fernández, J. V. (2016). Agricultura urbana y su aporte contra el efecto invernadero en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. In *Universidad Politécnica Salesiana*. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/12815>
- Gallardo, L. J. F., & Merino, A. (2007). *El ciclo del carbono y la dinámica de los sistemas forestales* (Issue March).
- Galvis, J. (2016). *Residuos sólidos: problema, conceptos básicos y algunas estrategias de solución*. 101–119.
- Guerra, P. (2014). 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*. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/1895/Q70.G84-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Hernández, C. O. A. (2020). *Emisión de gases de efecto invernadero en unidades de producción bovina en Chiapas, México.*
- Higa, T., & Parr, F. J. (2008). Microorganismos benéficos y efectivos para la agricultura y medio ambiente sostenible. *FUNDASES*, 1(69), 14.
- Iglesias-Abad, S., Alvarez-Vera, M., Vázquez, J., & Salas, C. (2020). Biochar de biomasa residual de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) mediante dos métodos de pirólisis. *Manglar*, 17(2), 7. <https://doi.org/10.17268/manglar.2020.016>
- Iglesias, S., Alegre, J., Salas, C., & Egúez, J. (2018). El rendimiento del maíz (*Zea mays*.L) mejora con el uso del biochar de eucalipto. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 8. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.03>
- Institvy, E. C. (2018). *Procesos de degradación y control.*
- IPPC. (2019). *Intergovernmental Panel on Climate Change.* https://archive.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml
- Jiménez, M. N. M. (2015). La gestión integral de residuos sólidos urbanos en México: entre la intención y la realidad. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 17, 29–56. <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.17.2015.1419>
- Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R., & Bello-Amez, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia (Arica)*, 24(1), 13. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292006000100009>
- Laban, P., Metternicht, G., & Davies, J. (2018). Bioversidad de suelos y carbono orgánico en suelos: cómo mantener vivas las tierras áridas. In *Bioversidad de suelos y carbono orgánico en suelos: cómo mantener vivas las tierras áridas.* <https://doi.org/10.2305/iucn.ch.2018.03.es>
- MAE. (2017). *Tercera comunicación nacional del Ecuador.* 630.
- Marroquín, M. (2018). *Valorización de residuos agroalimentarios y ganaderos mediante digestión anaerobia. Codigestión de residuos del tratamiento de aceites vegetales usados con purín porcino.*
- Martinez, J., & Fernández, B. A. (2004). Cambio climático: una visión desde México. In *Nucl. Phys.* (Vol. 13, Issue 1).
- Ministerio del Ambiente, M. (2012). *Estrategia nacional de cambio climático del Ecuador.* 153.
- MLO. (2022). *Mauna Loa Observatory.* <https://gml.noaa.gov/obop/mlo/>
- Morocho, M., & Mora, M. (2019). *Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas* (Vol. 46, Issue 2).

- Morocho, M. T., & Leiva-Mora, M. (2019). Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Cagricola*, 46(2), 93–103. <http://cagricola.uclv.edu.cu>
- MSV Lab, L. (2023). *Análisis de alimentos, aguas y suelos*.
- Muñoz, V. M. J. (2021). Efecto de biochar y fertilizantes sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, desarrollo radical y componentes de rendimiento en arroz. [Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí]. In *Escuela superior politécnica agropecuaria de manabí*. <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1543/1/TTA27D.pdf>
- Naciones Unidas, C. C. (2019). *El acuerdo de París*. <https://unfccc.int/es/acerca-de-las-ndc/el-acuerdo-de-paris#:~:text=El Acuerdo de París es,4 de noviembre de 2016>.
- Ordoñez, J. J. P. (2020). Remediación de suelos contaminados por residuos de hidrocarburos (HTP's) no volátiles procedentes de mecánicas automotrices mediante el uso de biochar. *Universidad Católica de Cuenca*, 92. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/7954>
- Organización Meteorológica Mundial, O. (2021). *Gases de efecto invernadero*. <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/un-año-más-las-concentraciones-de-gases-de-efecto-invernadero-volvieron#:~:text=En julio de 2021%2C las,registradas en julio de 2020>.
- Pablo, V. (2021). *ANÁLISIS SOBRE LA EFICIENCIA DEL USO DE MICROORGANISMOS DE MONTAÑA PARA POTENCIAR LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS*. Universidad de Cotopaxi.
- Pariona-Palomino, J., Matos-Ormeño, W., & Huillca-Huanaco, E. (2020). Biochar como tecnología de emisión negativa frente al cambio climático. *South Sustainability*, 1, 8. <https://doi.org/10.21142/ss-0102-2020-014>
- Pauta, J. L. (2022). *Aplicación de microorganismos beneficiosos en el compostaje de residuos orgánicos, caso de estudio: cda. laguna del sol y la planta de compostaje del Valle*. 1–61. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/11210>
- Pocomucha, C. K. J. (2020). Aplicación de biochar en el cultivo de lechuga var. great lakes 659 en el distrito San Agustín de Cajas. [Universidad Nacional del Centro del Perú]. In *Universidad Nacional Del Centro Del Centro De Posgrado*. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5992>
- Polanco, M. E. E. (2021). *Potencial del biochar para mejorar la sostenibilidad ambiental en Ecuador*. Universidad Católica de Cuenca.
- Poulain, M. (2006). *Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero y proposición de una estrategia para su reducción y captura. caso XI región de Aysén*. <http://mgpa.forestaluchile.cl/Tesis/Poulain Marcela.pdf>

- Prieto, M. O. (2016). *Efectos del biochar sobre el suelo , las características de la raíz y la producción vegetal* [Universidad de Córdoba]. <http://www.uco.es/investiga/grupos/ecologiavegetal/images/stories/pdf/biochar.pdf>
- Reyes-Ordoñez, H. R., Ortiz-Torres, J. I., Álvarez-Vera, M. S., & Cobos-Torres, J. C. (2020). *Evaluación de la degradación de materia orgánica mediante técnicas de visión artificial y sensores*. V, 421–436.
- Reyes, H., & Ortiz, J. (2019). *Evaluación de la degradación de materia orgánica mediante técnicas de visión artificial y sensores*. Universidad Católica de Cuenca.
- Reyes, O. H. R., & Ortiz, T. J. I. (2019). *Evaluación de la degradación de materia orgánica mediante técnicas de visión artificial y sensores*.
- Rodriguez, D. I. (2021). *Degradación del suelo en sistemas agrícolas de la granja Santa Inés, provincia de El Oro, Ecuador*. 8.
- Sanchis, J. E. (2014). *Emisiones de gases en el cultivo del arroz: efecto de la gestión e la paja*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Siguenza, O. 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.
- Suárez-Controreas, L. Y., & Peñaranda-Figueroa, F. A. (2022). Identificación molecular de hongos filamentosos y su potencial biotecnológico. *Investigación Científica y Tecnológica*, 20(1), 194–206. <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v20.n1.2022.1914>
- Sustentar tv, S. (2018). *Transformación de los residuos de eucaliptos*. <https://www.sustentartv.com/en-que-transforman-los-residuos-de-eucaliptos/>
- Torres-Sallan, 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*. May 2014, 2.
- Trucco, F., & Pugliese, M. (2020). *El uso del digestato como fertilizante en el sur de Europa*. 818470, 2020–2023. www.nutriman.net
- UAESP. (2018). *GUÍA TÉCNICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS A TRAVÉS DE METODOLOGÍAS DE COMPOSTAJE Y LOMBRICULTURA*.
- Useros, J. L. (2013). El Cambio Climático: sus causas y efectos medioambientales. *Real Academia de Medicina y Cirugía de Valladolid*, 50, 71–98.
- Vázquez, J., González, J., Castillo, J., & Álvarez, M. (2019). Microorganismos benéficos MOBs obtenidos de plantas, como promotores en la germinación de semillas. *Artículo de Investigación. Dominio de Las Ciencias*, 5(1), 615–628.

- Vera, M. (2015). Pirolisi una técnica de tratamiento térmico no tradicional. *Salud Sin Daño*, 1–4. <https://saludsindanio.org/sites/default/files/documents-files/1463/Pirolisis.pdf>
- Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A. C., Van Der Velde, M., & Diafas, I. (2010). Biochar Application to Soils. In *Environment* (Vol. 8, Issue 4). <https://doi.org/10.2788/472>
- Vidal-Espinosa, P. S., Alvarez-Vera, M., Cárdenas, A., & Cobos-Torres, J. C. (2023). Beneficial Microorganisms in the Anaerobic Digestion of Cattle and Swine Excreta. *Sustainability (Switzerland)*, 15(8), 1–16. <https://doi.org/10.3390/su15086482>
- Videgain, M. M. (2021). *Producción y caracterización de biochar. Evaluación de sus efectos sobre el sistema suelo-planta-microorganismos*. Universidad Zaragoza.

ANEXOS

Anexo 1:Proceso de pesaje de la masa y volumen de los tratamientos

- Evidencia fotográfica.



Figura 48:Tratamientos listos para empezar con el proceso de pesaje



Figura 49:Total de lixiviados de los cuatro tratamientos empleados



Figura 50: Medicion de lixiviados en probetas de 1000 ml



Figura 51: Proceso de pesaje de la masa en la balanza electrónica

Anexo 2: Análisis de laboratorio de la muestra de biochar

- Análisis físico-químico



INFORME DE RESULTADOS

Informe: MSV-IE-974-23
Orden de ingreso: OI-391-23
Cuenca, 05 de Junio del 2023

DATOS DEL CLIENTE

Cliente: PAUL VÁSQUEZ
Dirección: CUENCA
Teléfono: 0994539835

DATOS DE LA MUESTRA

*NOMBRE DE LA MUESTRA: BIOCHAR - CARBÓN EUCALIPTO			
*MARCA COMERCIAL: N/A		*FABRICANTE: N/A	
PROCEDENCIA: CUENCA	TIPO DE MUESTRA: BIOCHAR	*TIPO DE ENVASE: TARRINA PLASTICA	
*PRESENTACIONES: 500 g		*FORMA DE CONSERVACION: AMBIENTE FRESCO Y SECO	
CODIGO MUESTRA: OI39123	*LOTE: N/A	*FECHA ELAB: 2023-04-03	*FECHA CAD:
FECHA RECEPCION: 2023-05-03	FECHA ANALISIS: 2023-05-03 - 2023-05-19	FECHA ENTREGA: 2023-06-05	
ENSAYO EN: LABORATORIO	MUESTREO: CLIENTE	NUMERO DE MUESTRAS: UNO (1)	

ENSAYOS ANÁLISIS FISICO-QUIMICOS

PARÁMETRO	MÉTODO - TÉCNICA	UNIDAD	RESULTADO
*AZUFRE	NTE INEN 237:2013 - VOLUMETRÍA	%	0.2
***BORO	APHA 4500 B C (MODIF) - COLORIMETERIA	mg/kg	<0.01
*CALCIO	APHA 3500 CA B (MOD) - COLORIMETERIA	mg/kg	2.6
***CARBONO ORGÁNICO TOTAL	SM 5310 C - ESPECTROFOTOMETRIA	%	18
*COBRE	APHA 3500-CU (MODIF) - COLORIMETERIA	mg/kg	11
*FOSFATOS	NTE INEN 830 - VOLUMETRIA	%	0.505
*MAGNESIO	APHA 2340 C (MOD) - VOLUMETRIA	%	3.6
*MANGANESO TOTAL	HACH 8034 (MODIF) - COLORIMETERIA	mg/kg	0.9
*NITROGENO TOTAL	APHA 4500 NORG C - VOLUMETRIA	%	0.63
*PH	EPA 9045 D - POTENCIOMETRICO	upH	7.3
*POTASIO	STANDARDMETHODS3111B-K (MODIF) - ESPECTROFOTOMETRIA	%	1.748
*SODIO	APHA 3500 NA (MODIF) - VOLUMETRICO	%	0.138
*ZINC	HACH 8009 (MODIF) - COLORIMETERIA	mg/kg	395

*Fuera del alcance de la acreditación. **Subcontratado acreditado. ***Subcontratado no acreditado. U:INCERTIDUMBRE.

Dra. Sandra Guaraca
GERENTE DE LABORATORIO

Cualquier información adicional correspondientes a los ensayos que requiera el cliente, están a disposición. Los datos e información de las muestras (tal como se reciben) y de los clientes, que puedan afectar la validez de los resultados han sido proporcionados por el cliente y son de su exclusiva responsabilidad. El Laboratorio no será responsable de los desvíos encontrados en los ítems de ensayo entregados por los clientes que puedan afectar a los resultados, que al ser detectados serán comunicados al cliente.

Los resultados expresados en este informe tienen validez solo para la muestra recibida en el laboratorio. Este informe no será reproducido sin la aprobación de MSV. *Opciones e interpretaciones están fuera del alcance del SAE. *Información proporcionada por el cliente, MSV se responsabiliza exclusivamente de los análisis realizados. Regla de decisión: *Pasa: el valor medido está por debajo del límite de tolerancia, «No pasa»: el valor medido está por encima del límite de tolerancia; se tomará en cuenta la incertidumbre asociada al resultado, riesgo < 50% de probabilidad de aceptación no pasa, se aplicará en todos los ensayos. MSV está comprometido con la imparcialidad y Confidencialidad de la información y los resultados (este informe representa la aceptación de la política declarada de MSV en relación al tema)

FMC2104-05

Avenida de las Américas y Turuhuaico, Edificio Miraflores, 3er piso. Cuenca-Ecuador
Teléfono: 074045127 Celular: 0995354172 msvlaboratorio@gmail.com

Página 1 de 1

AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Paul Geovanny Vasquez Landi portador de la cédula de ciudadanía N.º 0106288822. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación "Medición de gases de efecto invernadero generados en la degradación de residuos vegetales con aplicación de microorganismos benéficos y biochar" 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, 18 de julio de 2023



F:

Paul Geovanny Vasquez Landi

0106288822