



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE ORELLANA
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOABONOS EMPLEANDO UN
BIODIGESTOR TUBULAR EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN
E INTERPRETACIÓN BIÓTICA “LA BELLEZA”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORA: GINGER LISBET YANEZ AREQUIPA

DIRECTORA: ING. JENNIFER ALEXANDRA OREJUELA ROMERO M. SC.

El Coca – Ecuador

2024

© 2024, **Ginger Lisbet Yánez Arequipa**

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

Yo, Ginger Lisbet Yánez Arequipa, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

El Coca, 26 de junio de 2024

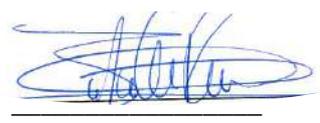


Ginger Lisbet Yánez Arequipa

055000942-7

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Trabajo de Investigación, **PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOABONOS EMPLEANDO UN BIODIGESTOR TUBULAR EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN E INTERPRETACIÓN BIÓTICA “LA BELLEZA”**, realizado por la señorita: **GINGER LISBET YÁNEZ AREQUIPA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Carlos Mestanza Ramón Ph.D. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-06-26
Ing. Jennifer Alexandra Orejuela Romero M. Sc. DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-06-26
Ing. Demmy Jussey Mora Silva M. Sc. ASESORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-06-26

DEDICATORIA

Con toda mi gratitud y amor este trabajo se los dedico a mis amados padres Angélica Arequipa y Franklin Yáñez, quienes han sido mi mayor fuente de inspiración, apoyo y amor incondicional a lo largo de mi vida. Su sacrificio, dedicación y valores han sido los pilares sobre los cuales he construido mi camino académico. Cada logro alcanzado es también un tributo a su infinita confianza en mí. Gracias por ser mis guías, mis héroes y mis eternos ejemplos de fortaleza y generosidad. Este logro es también suyo. A mis queridas hermanas Fernanda Yáñez y Madeley Yáñez, les agradezco de corazón por inspirarme a superarme y por creer incondicionalmente en mí. Cada éxito alcanzado en mi vida se convierte en un faro que ilumina su propio camino hacia la superación. Los amo eternamente.

Ginger

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ser maravilloso, por brindarme toda la armonía, sabiduría e inteligencia para realizar esta investigación. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Orellana, Facultad de Ciencias, Ingeniería Ambiental, por recibirme con las puertas abiertas, donde he logrado formarme para un futuro como Ingeniera Ambiental. A todos los docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental, por las enseñanzas en este proceso de formación como profesional, en especial a mi Directora de Tesis Ing. Jennifer Orejuela, Asesora Ing. Demmy Mora y al docente de agronomía el Ing. Juan Chipantiza, quienes con su aporte incondicional supieron guiarme durante la presente investigación. Agradezco profundamente a mis amigas por acompañarme en esta travesía académica, brindándome su constante apoyo y ánimo en cada etapa del proceso. A mis queridos padres Franklin y Angélica, por su inquebrantable apoyo durante todo el proceso de este trabajo. Su amor, aliento y sacrificio han sido pilares fundamentales que han guiado cada paso de este viaje académico. Estoy eternamente agradecido por todo lo que han hecho por mí y por el invaluable legado de amor y dedicación que me han transmitido. También expreso mi sincero agradecimiento a Edú Campozano por su apoyo inquebrantable durante todo el proceso de mi tesis. Su constante aliento, comprensión y paciencia han sido fundamentales para mantenerme enfocada y motivada en los momentos más desafiantes. Su contribución a este logro es verdaderamente invaluable. A todos ustedes mi más profundo agradecimiento.

Ginger

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY / ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1	Planteamiento del Problema	3
1.2	Objetivos.....	4
1.2.1	<i>Objetivo General.....</i>	4
1.2.2	<i>Objetivos Específicos</i>	4
1.3	Justificación.....	4
1.4	Hipótesis.....	6
1.4.1	<i>Hipótesis nula</i>	6
1.4.2	<i>Hipótesis alternativa</i>	6

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	7
2.1	Referencias Teorías	7
2.1.1	<i>Biomasa</i>	7
2.1.2	<i>Biogás</i>	7
2.1.3	<i>Bioabonos</i>	7
2.1.3.1	<i>Biol.....</i>	8

2.1.3.2	<i>Biosol</i>	8
2.1.4	<i>Biodigestores o digestores</i>	8
2.1.5	<i>Tipos de digestores o biodigestores</i>	8
2.1.5.1	<i>Discontinuos</i>	8
2.1.5.2	<i>Semicontinuos</i>	9
2.1.5.3	<i>Continuos</i>	9
2.1.6	<i>Clasificación de biodigestores</i>	9
2.1.6.1	<i>Biodigestor de cúpula fija (Tipo Chino)</i>	9
2.1.6.2	<i>Biodigestor de cúpula flotante (Tipo Hindú)</i>	10
2.1.6.3	<i>Biodigestor tubular (Tipo Taiwán)</i>	11
2.1.7	<i>Procesos de digestión</i>	11
2.1.7.1	<i>Digestión aeróbica</i>	11
2.1.7.2	<i>Digestión anaeróbica</i>	12
2.1.8	<i>Parámetros clave en la digestión anaeróbica</i>	13
2.1.8.1	<i>Tiempo de retención hidráulica (TRH)</i>	13
2.1.8.2	<i>pH</i>	13
2.1.8.3	<i>Temperatura</i>	13

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	14
3.1	Tipo de investigación	14
3.2	Enfoque de Investigación	14
3.3	Alcance de Investigación	14
3.4	Diseño de Investigación	14
3.4.1	<i>Identificación de variables</i>	15
3.4.2	<i>Localización del Estudio</i>	15
3.5	Población y muestra de estudio	16
3.6	Métodos o metodología	16

3.6.1	<i>Primera Fase: Mantenimiento e instalación del biodigestor tubular</i>	16
3.6.1.1	<i>Mantenimiento</i>	16
3.6.1.2	<i>Excavación de la zanja</i>	18
3.6.1.3	<i>Instalación del biodigestor tubular</i>	19
3.6.1.4	<i>Conexión salida del biogás</i>	20
3.6.2	<i>Segunda Fase: Producción de biogás, biol y biosol</i>	22
3.6.2.1	<i>Recolección del estiércol</i>	22
3.6.2.2	<i>Muestreo del estiércol</i>	23
3.6.2.3	<i>Carga del biodigestor</i>	24
3.6.2.4	<i>Monitoreo y control de variables</i>	26
3.6.2.5	<i>Ensayo de probeta</i>	27
3.6.2.6	<i>Ensayo de flama</i>	28
3.6.2.7	<i>Extracción del biol y biosol del biodigestor tubular</i>	29
3.6.2.8	<i>Muestreo del biosol</i>	31
3.6.3	<i>Tercera Fase: Eficiencia del biol y biosol</i>	32
3.6.3.1	<i>Preparación de las parcelas</i>	32
3.6.3.2	<i>Muestreo del suelo inicial</i>	33
3.6.3.3	<i>Trasplante de culantro</i>	34
3.6.3.4	<i>Tratamientos</i>	35
3.6.3.5	<i>Aplicación de biol y biosol</i>	35
3.6.3.6	<i>Variables analizadas</i>	36
3.6.3.7	<i>Muestreo del suelo final</i>	38
3.6.3.8	<i>Análisis estadístico</i>	39
3.6.4	<i>Cuarta Fase: Guía práctica de operación del biodigestor tubular</i>	39

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS ..	40
4.1	Procesamiento, análisis e interpretación de resultados	40

4.1.1	<i>Primera Fase: Mantenimiento e instalación del biodigestor tubular</i>	40
4.1.2	<i>Segunda Fase: Producción de biogás, biol y biosol</i>	42
4.1.2.1	<i>Control de temperatura</i>	42
4.1.2.2	<i>Control de pH</i>	42
4.1.2.3	<i>Correlación entre variables</i>	43
4.1.2.4	<i>Volumen de biogás</i>	45
4.1.2.5	<i>Nutrientes del estiércol y biosol</i>	46
4.1.3	<i>Tercera Fase: Eficiencia del biol y biosol</i>	47
4.1.3.1	<i>Altura final del culantro</i>	47
4.1.3.2	<i>Longitud de la raíz</i>	50
4.1.3.3	<i>Nutrientes del suelo</i>	52
4.1.4	<i>Cuarta Fase: Guía práctica de operación del biodigestor tubular</i>	53
4.2	Discusión de los resultados	81

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	85
5.1.	Conclusiones	85
5.2.	Recomendaciones	86

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1: Equipos y materiales para el mantenimiento	17
Tabla 3-2: Materiales para la excavación de la zanja.....	18
Tabla 3-3: Equipos y materiales para la instalación del biodigestor	19
Tabla 3-4: Materiales para la salida del biogás	21
Tabla 3-5: Equipos y materiales para la recolección del estiércol	22
Tabla 3-6: Materiales muestreo de estiércol	24
Tabla 3-7: Materiales para cargar el biodigestor.....	25
Tabla 3-8: Equipos y materiales para el muestreo de estiércol: agua	26
Tabla 3-9: Equipos y materiales para el ensayo con la probeta	27
Tabla 3-10: Equipos y materiales para el ensayo de flama	28
Tabla 3-11: Equipos y materiales para la extracción del biol y biosol.....	30
Tabla 3-12: Materiales muestreo de biosol	31
Tabla 3-13: Materiales para la preparación de las parcelas	32
Tabla 3-14: Materiales muestreo de suelo inicial.....	34
Tabla 3-15: Materiales y recursos para el trasplante.....	34
Tabla 3-16: Proporción durante el ciclo de crecimiento vegetal.....	35
Tabla 3-17: Materiales para la aplicación del biol y biosol	35
Tabla 3-18: Materiales de medición.....	36
Tabla 3-19: Materiales muestreo de suelo final	38
Tabla 4-1: Monitoreo y control del biodigestor tubular	41
Tabla 4-2: Monitoreo y control de la Temperatura	42
Tabla 4-3: Monitoreo y control de pH	43
Tabla 4-4: Correlación entre variables	44
Tabla 4-5: Monitoreo y control de producción de biogás	45
Tabla 4-6: Datos de la medición de la altura final del culantro	48
Tabla 4-7: Análisis de varianza (ANOVA) de la altura final del culantro.....	49
Tabla 4-8: Agrupación de las medias de la prueba de Tukey	49
Tabla 4-9: Datos de la medición de la longitud de la raíz del culantro.....	51
Tabla 4-10: Resultados Análisis de varianza (ANOVA) de la longitud de la raíz.....	52
Tabla 4-11: Herramientas - excavación de la zanja	58
Tabla 4-12: Equipos - Instalación del biodigestor	60
Tabla 4-13: Materiales - conexión salida biogás-manguera.....	62
Tabla 4-14: Materiales - carga del biodigestor.....	63

Tabla 4-15: Materiales - monitoreo y control de variables	65
Tabla 4-16: Materiales - ensayo de probeta	66
Tabla 4-17: Ejemplo del volumen diario de CH ₄ registrados.....	68
Tabla 4-18: Materiales - ensayo de flama	68
Tabla 4-19: Materiales - Extracción del biol y biosol.....	69
Tabla 4-20: Materiales - Mantenimiento del biodigestor.....	72
Tabla 4-21: Herramientas - Preparación parcelas y trasplante.....	74
Tabla 4-22: Tratamientos: Testigo, Biol, Biosol y Biosol+Biol	76
Tabla 4-23: Materiales - aplicación del biol y biosol.....	76
Tabla 4-24: Materiales - Medición de las variables	77
Tabla 4-25: Materiales - Análisis del suelo.....	79

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Biodigestor de cúpula fija (Tipo Chino).....	10
Ilustración 2-2: Biodigestor de cúpula flotante (Tipo Hindu).....	10
Ilustración 2-3: Biodigestor tubular (Tipo Taiwán).....	11
Ilustración 3-1: Mapa de ubicación Estación Experimental La belleza.....	15
Ilustración 3-2: Mantenimiento del biodigestor tubular.....	17
Ilustración 3-3: Excavación de la zanja.....	19
Ilustración 3-4: Instalación del biodigestor tubular en la zanja.....	20
Ilustración 3-5: Conexión salida del biogás.....	21
Ilustración 3-6: Recolección del estiércol.....	23
Ilustración 3-7: Toma de muestra para los análisis.....	24
Ilustración 3-8: Mezcla estiércol: agua y carga del biodigestor tubular.....	25
Ilustración 3-9: Monitoreo y control pH y temperatura.....	27
Ilustración 3-10: Ensayo de probeta.....	28
Ilustración 3-11: Ensayo de flama en el día y en la noche.....	29
Ilustración 3-12: Extracción del biol y biosol.....	30
Ilustración 3-13: Muestreo de Biosol.....	31
Ilustración 3-14: Preparación de las parcelas.....	33
Ilustración 3-15: Trasplante de culantro.....	34
Ilustración 3-16: Aplicación de los tratamientos en el cultivo de culantro.....	36
Ilustración 3-17: Medición del culantro.....	37
Ilustración 3-18: Medición de las raíces del culantro.....	37
Ilustración 3-19: Muestreo del suelo aplicado los tratamientos.....	39
Ilustración 4-1: Correlación entre la Temperatura Ambiente, Temperatura Biomasa y pH.....	44
Ilustración 4-2: Volumen diario de CH ₄ en el biodigestor.....	46
Ilustración 4-3: Comparación propiedades estiércol – biosol.....	47
Ilustración 4-4: Intervalos de los tratamientos.....	50
Ilustración 4-5: Elementos del biodigestor tubular.....	57
Ilustración 4-6: Delimitación del área, primer rectángulo (1,50m x 7 m).....	58
Ilustración 4-7: Delimitación del área, segundo rectángulo (80 cm x 7 m).....	58
Ilustración 4-8: Ejecución del chaflán.....	59
Ilustración 4-9: Excavación tanque de recepción.....	59
Ilustración 4-10: Colocación del geotextil y geomembrana.....	60
Ilustración 4-11: Conexión de tubos de PVC.....	61

Ilustración 4-12: Ubicación tanque de salida del biol	61
Ilustración 4-13: Conexión salida de biogás	62
Ilustración 4-14: Mezcla del estiércol	63
Ilustración 4-15: Mezcla estiércol: agua en una proporción 1:3	64
Ilustración 4-16: Carga del biodigestor	64
Ilustración 4-17: Extracción de la muestra estiércol: agua	65
Ilustración 4-18: Medición de la temperatura de la mezcla estiércol: agua	66
Ilustración 4-19: Ingreso de la manguera en la probeta (1000 ml)	67
Ilustración 4-20: Medición del biogás.....	67
Ilustración 4-21: Comprobación de la flama del gas.....	68
Ilustración 4-22: Formación de la llama en el día y noche	69
Ilustración 4-23: Desconectar el tubo PVC de la entrada	70
Ilustración 4-24: Extracción del biol del biodigestor	70
Ilustración 4-25: Extracción del biosol del biodigestor	71
Ilustración 4-26: Producto final biol y biosol	71
Ilustración 4-27: Desprendimiento de la geomembrana del tubo PVC.....	72
Ilustración 4-28: Prueba de hermetismo del biodigestor.....	73
Ilustración 4-29: Reparación de agujeros de la geomembrana	73
Ilustración 4-30: Verificación del hermetismo de la geomembrana	74
Ilustración 4-31: Preparación de las cuatro parcelas.....	75
Ilustración 4-32: Trasplante de plántulas de culantro	75
Ilustración 4-33: Preparación y aplicación del biol y biosol.....	77
Ilustración 4-34: Medición de la altura final del culantro.....	78
Ilustración 4-35: Recolección del culantro	78
Ilustración 4-36: Medición de la longitud de la raíz del culantro	79
Ilustración 4-37: Homogenización y cuarteo de la muestra.....	80
Ilustración 4-38: Almacenamiento y etiquetado de la muestra de suelo.....	80

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: FOTOGRAFÍAS

ANEXO B: ANÁLISIS QUÍMICOS

ANEXO C: ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

RESUMEN

El inadecuado manejo del estiércol tiene un impacto negativo en el ambiente, puede provocar la degradación del suelo, la contaminación del agua, así como la emisión de gases de efecto invernadero. Además, el uso excesivo de fertilizantes sintéticos conlleva riesgos para la salud humana y el ambiente debido a la presencia de metales pesados contaminantes. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue la producción de biogás y bioabonos mediante la implementación de un biodigestor tubular en el Centro de Investigación e Interpretación Biótica “La Belleza”. La metodología empleada tuvo un enfoque cuantitativo, se utilizó un diseño experimental manipulando variables dependientes e independientes; la población y muestra de estudio fue de 640 kg de estiércol de ganado vacuno. La investigación se dividió en cuatro fases: 1. Mantenimiento e instalación del biodigestor; 2. La producción de biogás y bioabonos con un tiempo de retención de 45 días; 3. Eficiencia de biol y biosol en cultivos de culantro; 4. Se desarrolló una guía práctica para el uso del biodigestor. Durante el proceso, se registró un incremento diario de 20 ml en la producción de metano (CH₄). Este aumento se atribuye principalmente a la digestión anaeróbica, que a su vez condujo a un notable enriquecimiento de los nutrientes del biosol con valores de Fósforo: 188,31 mg/Kg; Nitrógeno: 0,76 por ciento y Potasio: 437,9 mg/kg; con un pH de 7,49. Los análisis estadísticos demostraron que el tratamiento que incide significativamente en la altura final del culantro fue el tratamiento Biol+Biosol. Se concluye que el biodigestor tubular alcanzó una producción de 2620 ml de volumen total de metano. Atribuido a la neutralidad del pH durante el proceso de digestión anaeróbica. Estas condiciones propiciaron la generación de bioabonos con un contenido nutricional elevado, lo cual influyó positivamente en el desarrollo del culantro.

Palabras clave: <BIODIGESTOR TUBULAR>, < ESTIÉRCOL BOVINO>, <BIOGÁS>, <BIOABONOS>, < EFICIENCIA BIOL Y BIOSOL>, < GUIA PRÁCTICA>, <FRANCISCO DE ORELLANA (CANTÓN)>, <ORELLANA (PROVINCIA)>

Cristian Tenelanda S.

Ing. Cristian Sebastian Tenelanda S.

0604686709



0944-DBRA-UPT-2024

ABSTRACT

Improper manure management has a negative impact on the environment and can lead to soil degradation, water pollution and greenhouse gas emissions. In addition, the extreme use of synthetic fertilizers carries risks to human health and the environment due to the presence of contaminating heavy metals. Therefore, the objective of this research was the biogas and biofertilizers production through a tubular biodigester implementation at Center for Biotic Research and Interpretation "La Belleza". The methodology employed had a quantitative approach, an experimental design was used manipulating dependent and independent variables; the study population and sample was 640 kg of cattle manure. The research was divided into four phases: 1. maintenance and installation of the biodigester; 2. production of biogas and biofertilizers with a retention time of 45 days; 3. efficiency of biol and biosol in coriander crops; 4. a practical guide for the use of the biodigester was developed. During the process, a daily increase of 20 ml in methane (CH₄) production was recorded. This increase is mainly attributed to anaerobic digestion, which in turn led to a remarkable enrichment of the biosol nutrients with values of Phosphorus: 188.31 mg/kg; Nitrogen: 0.76 % and Potassium: 437.9 mg/kg; with a pH of 7.49. Statistical analysis showed that the treatment that significantly affected the final height of the coriander was the Biol+Biosol treatment. It is concluded that the tubular biodigester achieved a production of 2620 ml of total methane volume. This was attributed to the neutral pH during the anaerobic digestion process. These conditions favored the generation of biofertilizers with a high nutritional content, which positively influenced the development of coriander.

Keywords: <BIODIGESTOR TUBULAR>, <CROP STERILIZER>, <BIOGAS>, <BIOABONOS>, <BIOL AND BIOSOL EFFICIENCY>, <PRACTICAL GUIDE>, <FRANCISCO DE ORELLANA (CANTON)>, <ORELLANA (PROVINCE)>.



Reviewed by

Lic. Licett Ramos I., Mgs.

ENGLISH PROFESSOR

C.I 0603066960

INTRODUCCIÓN

El cambio climático es uno de los problemas que actualmente la humanidad está enfrentando debido a la acumulación de gases de efecto invernadero (Mercuriali et al., 2022, pág. 3). El aumento de la temperatura en el planeta es resultado de las distintas actividades antropogénicas que provocan graves consecuencias al medio ambiente y a la salud de las personas (González, 2023, págs. 306-311). El incremento de la demanda de productos de origen animal ha generado un aumento en las actividades como la ganadería, originando grandes cantidades de gases que se liberan a la atmósfera, provocando así el efecto invernadero (Torres et al., 2019, pág. 3).

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) manifiesta que el sector ganadero genera un 18% más de gases de efecto invernadero que el sector del transporte, equivalente en dióxido de carbono (CO₂) (ONU, 2006). Como consecuencia del incremento de la producción ganadera se genera elevadas cantidades de estiércol, su inadecuado manejo llega a generar contaminantes al medio ambiente, emitiendo distintos gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O) y metano (CH₄) (Muñoz et al., 2018, pág. 12).

A nivel mundial, los agroquímicos y fertilizantes constituyen uno de los principales insumos utilizados en la producción de alimentos (Andrade et al., 2023, pág. 368). Su comercialización inició a mediados del siglo XIX, volviéndose un componente clave en los cultivos para los países en desarrollo (López, 2022, pág. 5). Debido a los beneficios en la productividad agrícola, aportan micro y macronutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo adecuados de las plantas (Hipólito et al., 2017, págs. 4-6).

La generación y la inadecuada disposición de los residuos sólidos es uno de los principales problemas ambientales, a nivel mundial se produce alrededor de 2.010 millones de toneladas de desechos sólidos municipales por año (Kaza et al., 2018, pág. 3). A esto se suma la generación de residuos ganaderos aproximadamente con 1.300 millones de toneladas por año (FAO, 2020, págs. 33-34). Los principales contaminantes tóxicos que se producen durante su descomposición son el metano (CH₄), además los efluentes que se lixivian contaminan los mantos freáticos con nitratos (NO₃⁻) (Medina et al., 2018, pág. 207).

El ganado vacuno con un peso de 400 kg llega a generar alrededor de 20 a 25 kg diarios de estiércol, en el área rural una familia posee en promedio siete cabezas de ganado (Negrete, 2021, pág. 21). La degradación de este sustrato toma alrededor de un año hasta llegar al punto donde ofrece todos sus nutrientes y pueden ser aprovechados principalmente por el recurso suelo (Vera et al.,

2014, pág. 430). Contribuyen con un 50% de emisiones de amoníaco (NH_3) hacia la atmósfera, presenta entre 17,4-40% de carbono (C) y un 0,3-2% de nitrógeno (N) (Aguirre y Nuñez, 2022, pág. 11).

El estiércol puede ser aprovechado y reutilizado con procedimientos biológicos, que facilitan su transformación (Santafé, 2019, pág. 6). Uno de los sistemas más utilizados es la fermentación o digestión anaeróbica que consiste en un proceso económico y natural realizado por bacterias anaerobias (Torres et al., 2019, pág. 3). Se utilizan los biodigestores o digestores tubulares en el cual los microorganismos anaerobios en ausencia de oxígeno descomponen la materia orgánica presente, dando como resultado una serie de subproductos como el biogás y bioabonos (Ariza et al., 2018, pág. 3).

El biogás funciona como una fuente de energía alterna, económica y fácil de implementar para el sector rural (Rodríguez, 2014, págs. 12-13). Puede utilizarse para combustión directa en la cocción de alimentos, iluminación, calefacción, electricidad y combustibles para los medios de transporte (Montenegro, 2020, pág. 14). En las zonas rurales donde los combustibles son escasos estos sistemas proporcionan una fuente de energía calorífica para realizar actividades básicas en el hogar (Santafé, 2019, pág. 6).

Los bioabonos consisten en fracciones de residuos líquidas y sólidas, de modo que son utilizados como fertilizantes orgánicos o biofertilizantes (Curilla y Flores 2022, pág. 15). En el sector agrícola la parte sólida es compostada, ya que almacenan nutrientes esenciales: nitrógeno (N); fósforo (P) y potasio (K), contiene un porcentaje mayor de nutrientes en comparación a la parte líquida (Bongiovanni, 2018, págs. 5-6). Los microorganismos presentes promueven las propiedades químicas y biológicas del suelo, restauran su fertilidad y estimulan el crecimiento de las plantas (Araujo y Collahuazo, 2019, pág. 76).

Ecuador aprovecha los residuos agrícolas, agroindustriales, pecuarios y los residuos domiciliarios, a través del uso de los biodigestores como un sistema energético (Soria y Carvajal, 2010, pág. 40). Sin embargo, la falta de financiamiento para el mantenimiento de estos equipos varios de ellos dejaron de funcionar (Espinosa, 2021, pág. 69). Actualmente con el desarrollo tecnológico se ha implementado biodigestores tecnificados con dispositivos adicionales de calefacción, agitación o fases de pretratamiento que facilitan su manejo adecuado (Mercado y Álvarez, 2023, pág.7).

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

En Ecuador durante el año 2022, se registró 3,9 millones de cabeza de ganado vacuno. La región Sierra registra el mayor número con un 53,0 % del total nacional, seguida por la Costa con el 38,5 %, y la Amazonía con el 8,5 % (IpiALES y Maritza, 2023, pág. 12). En Francisco de Orellana una de las principales actividades económicas en el sector rural es la agropecuaria, existen alrededor de 2061 Unidades de producción agropecuarias que ocupan una superficie de 110.362 ha (15,66% del territorio cantonal), se llega a generar aproximadamente 6,63 millones de kg diarios de estiércol (GADMFO, 2019, pág. 47).

El inadecuado manejo de estos desechos tiene un impacto negativo en el ambiente, origina la degradación del suelo, la contaminación del recurso hídrico y del aire (Amigó, 2019, pág. 21). Gran cantidad de estiércol es depositado directamente al suelo para mejorar su calidad, sin embargo, tarda alrededor de un año para que se degrade y se aproveche al máximo sus nutrientes (Vera et al., 2014, 430). El exceso de este resulta nocivo para su fertilidad ya que puede existir una sobrecarga de nutrientes, también puede infiltrarse materia orgánica sin digerir al suelo o al recurso hídrico provocando su contaminación (Medina et al., 2018, pág. 207).

Durante el proceso de descomposición del estiércol se emiten gases de efecto invernadero (GEI) como el metano y el dióxido de carbono con un 30 a 50% (Príncipe, 2022, pág. 19). La acumulación de GEI provoca el deterioro de la capa de ozono, contribuyendo al calentamiento global y al cambio climático (Muñoz et al., 2018, pág. 12). A su vez se generan olores desagradables y liberan compuestos volátiles que afectan la calidad del aire, volviéndose dañino para las personas que están en contacto continuo a este desecho por la falta de ventilación en sus zonas de almacenamiento (Pinos et al., 2012, pág. 360).

Así también, en los últimos años el uso de fertilizantes ha incrementado con el único propósito de mantener un elevado nivel de producción, sin embargo, para los agricultores representa un gasto adicional (Taco, 2022, págs. 9-10). La presencia de metales pesados como arsénico (As) y cadmio (Cd) en los fertilizantes es altamente contaminante (Andrade et al., 2023, pág. 368). Resultan nocivos para el ambiente y la salud de los seres vivos debido a que deterioran la calidad del suelo

a largo plazo, provocando daño en la cobertura vegetal y flora endémica (Zambrano y Lima, 2023, pág. 143).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Producir biogás y bioabonos mediante la implementación de un biodigestor tubular en el Centro de Investigación e Interpretación Biótica “La Belleza”, optimizando los procesos de digestión anaeróbica del estiércol, para evaluar la eficiencia del biol y biosol obtenidos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar el mantenimiento y la instalación del biodigestor tubular en el Centro de Investigación e Interpretación Biótica “La Belleza”, mediante pruebas de funcionamiento y del sitio óptimo de ubicación.
- Optimizar el proceso de digestión anaeróbica, mediante el monitoreo de variables claves para alcanzar la máxima producción de biogás y bioabonos.
- Evaluar la eficiencia del biol y biosol mediante su aplicación en el cultivo de culantro (*Coriandrum sativum*).
- Elaborar una guía práctica de operación del biodigestor tubular, incluyendo parámetros de control y mantenimiento para su uso continuo y eficiente en Centro de Investigación e Interpretación Biótica “La Belleza”.

1.3 Justificación

El desarrollo de sistemas eficientes y sostenibles de producción de biogás y bioabonos a través del uso de biodigestores tubulares en ausencia de oxígeno a través de un proceso denominado digestión anaeróbica, en presencia de microorganismos anaerobios (Martí, 2019, pág.13). Permite aprovechar los residuos generados por actividades agropecuarias en las zonas rurales, mediante una serie de reacciones bioquímicas transforman los residuos orgánicos en subproductos como el biogás y bioabonos (Varnero, 2011, pág. 9). En estos sistemas es fundamental llevar el monitoreo y control de la temperatura y el pH de la biomasa (estiércol) utilizada, ya que estos parámetros deben encontrarse dentro de su rango óptimo para la generación de subproductos de alta calidad (Pelegrín, 2021, pág. 19).

El biogás se compone aproximadamente de un 55% de metano (CH₄) y 45% de dióxido de carbono (CO₂), el uso de este gas desplaza el uso de otros combustibles como la leña, el gas natural o licuado de petróleo, reduciendo la deforestación y el uso de combustibles fósiles (Torres et al., 2019, pág. 3). Se produce alrededor de 1 m³ de biogás con 20 a 30 kg de residuos orgánicos que corresponden a 6,1 kw/h de energía limpia (Arturo et al., 2022 pág. 12). Al combustionarse el biogás, el metano es transformado en CO₂ y agua lo que reduce, por lo tanto, el impacto del efecto invernadero. De tal forma, el biodigestor permite que el productor reduzca la huella de carbono asociada a su consumo energético y la fertilización de sus cultivos (Martí et al, 2019, págs. 10-11).

Los biobonos o fango resultado del proceso anaeróbico se divide en dos efluentes, el líquido conocido como biol y el sólido denominado biosol (Gutiérrez Roncal, 2020). El biol permite aumentar la cantidad de raíces en las plantas y mejora su capacidad fotosintética, incrementando la producción y calidad de los cultivos (Bongiovanni y Silvana, 2018, pág. 5). A su vez el biosol contiene la mayor parte de los nutrientes que permite el crecimiento y desarrollo adecuado de las plantas. (Torres et al., 2019, pág. 4). Estos fertilizantes orgánicos reduce o elimina el uso de agroquímicos, su utilización permite que el productor pueda fertilizar sus campos, ahorrando costes de compra de fertilizantes sintéticos, y dándole un valor agregado a su producción por ser un manejo orgánico (Araujo y Collahuazo, 2019, pág. 76).

La aplicación de estos abonos mejora las características físicas y químicas del suelo (Barrena et al., 2019, pág. 3). Los principales macronutrientes presentes en los efluentes biol y biosol son el Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K), elementos fundamentales para el proceso de fotosíntesis, promueve el crecimiento de las plantas y mejora la calidad de los frutos (Cabos et al., 2019, pág. 4). La producción diaria de residuos orgánicos en las zonas rurales mejora la adaptabilidad a estos sistemas, asegurando la autoproducción de energía renovable y fertilizantes orgánicos (Pizarro, 2021, pág. 5).

El sector agropecuario del cantón Francisco de Orellana genera elevadas concentraciones de contaminantes por residuos orgánicos, aportando de manera significativa al incremento de los gases de efecto invernadero (GADMFO, 2019, pág. 47). Estos pueden acumularse en la atmósfera provocando impactos negativos con el paso del tiempo, por ello el presente proyecto tiene como finalidad la implementación de un biodigestor tubular para transformar estos residuos en energías y fertilizantes amigables con el medio ambiente, aprovechándose los residuos generados constantemente (Santafé, 2019, pág. 6).

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis nula

El uso de un biodigestor tubular en el Centro de Investigación e Interpretación Biótica “La Belleza” no permitirá la producción de bioabonos con un mayor contenido de nutrientes esenciales como el Nitrógeno, Fósforo y Potasio.

1.4.2 Hipótesis alternativa

El uso de un biodigestor tubular en el Centro de Investigación e Interpretación Biótica “La Belleza” permitirá la producción de bioabonos con un mayor contenido de nutrientes esenciales como el Nitrógeno, Fósforo y Potasio.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Referencias Teorías

2.1.1 *Biomasa*

La biomasa comprende la materia orgánica generada por animales, microorganismos y plantas (Martínez y Leyva, 2014, pág. 14). Se clasifica en primarias y secundarias de acuerdo a su obtención, la primera se obtiene de forma directa del ecosistema natural para uso energético, mientras que la segunda es el resultado o producto de las actividades antropogénicas, también se la denomina biomasa residual (Vargas, 2021, pág. 8). A su vez se puede clasificar según la actividad humana, estas pueden ser agrícola, industrial y forestal (Vázquez, 2014, pág. 98).

2.1.2 *Biogás*

El biogás consiste en una mezcla gaseosa que se obtiene de la descomposición de la materia orgánica, por medio de un proceso anaeróbico, funciona de manera similar al gas metano de origen fósil (Montenegro, 2020, pág. 14). Sus principales componentes son el metano (CH_4) con un 55 a 65%, el dióxido de carbono (CO_2) de 35 a 45%, nitrógeno (N) de 0 a 3%, hidrógeno (H) de 0 a 1%, oxígeno (O) 0 a 1% y contiene trazas de sulfuro de hidrógeno (H_2S) generados por los microorganismos (Bautista, 2010, págs. 24-25). Puede ser aplicado en procesos de cocción de alimentos, generación de electricidad y combustible para vehículos (Torres et al., 2019, pág. 10).

2.1.3 *Bioabonos*

Al finalizar el proceso anaeróbico se obtienen fertilizantes de alta calidad denominados bioabonos o fangos, estos se dividen en dos según el contenido, una fracción líquida denominado Biol y una fracción sólida conocido como Biosol (Gutiérrez, 2020, pág. 8). Estas fracciones contienen macronutrientes como Nitrógeno (N) de 2 al 3%, Fósforo (P) de 1 a 2%, Potasio (K) de 1% y la materia orgánica con 85%, sin embargo, el nitrógeno se encontrara en concentraciones altas (Cabos et al., 2019, pág. 3).

2.1.3.1 Biol

El biol o también denominado fertilizante foliar líquido permite aumentar la cantidad de raíces en las plantas, mejora su capacidad fotosintética, incrementando la producción y calidad de los cultivos (Gutiérrez, 2020, pág. 13). De la materia orgánica que ingresa al biodigestor un 90% se transforma en biol (Aparcana y Jansen, 2008, pág. 3).

2.1.3.2 Biosol

El biosol contiene la mayor parte de los nutrientes que permite el crecimiento y desarrollo adecuado de las plantas (Cabos et al., 2019, pág. 3). Se aplica de forma directa una vez culminado el proceso anaeróbico o puede pasar por un proceso de secado al ambiente, serán recolectadas en fundas plásticas para usos posteriores (Torres et al., 2019, pág. 4).

2.1.4 Biodigestores o digestores

Los biodigestores consisten en equipos totalmente cerrados donde se lleva a cabo el proceso de digestión anaeróbica para la producción de biogás y bioabonos (Gómez y Ángel, 2020, pág. 38). Es importante que este sellado completamente para favorecer las condiciones anaeróbicas, evitando la producción del amonio y dióxido de carbono, el amonio puede interferir en el proceso puesto que es una sustancia tóxica para los microorganismos anaerobios (Ariza et al., 2018, pág. 3).

2.1.5 Tipos de digestores o biodigestores

Los biodigestores pueden variar por el uso y la complejidad que implica su manipulación, algunos requieren de carga continua, lo que implica un consumo elevado de agua y de biomasa para la mezcla, mientras que otros solo requieren de una sola carga y su proceso termina cuando deje de generar biogás (Gómez y Ángel, 2020, pág. 37).

2.1.5.1 Discontinuos

Los biodigestores discontinuos también conocidos como biodigestores de régimen estacionario o tipo Batch son de fácil construcción, pueden ser sobre el suelo o semi enterrada y con lleva un simple proceso de digestión (Tobón, 2018, pág. 31). En estos, la carga o lote se realiza una sola vez, finaliza cuando la materia orgánica se ha degradado completamente y la cantidad de biogás generado tiene concentraciones bajas (WATERSUPPLY EC, 2022, pág. 12). Está conformado por una

salida de biogás y un gasómetro de almacenamiento, transcurrido cierto tiempo se vacía por completo el biodigestor y se carga nuevamente para dar inicio al proceso de digestión (Quispe, 2021, pág. 32).

2.1.5.2 Semicontínuos

En los biodigestores semicontínuos la carga de la materia orgánica se realiza a diario, lo óptimo es realizar una o dos cargas por día (Martí, 2019, pág. 106). El volumen de carga de la materia orgánica va a depender del volumen total del biodigestor y del tiempo de retención hidráulico (TRH), regularmente se obtiene la misma cantidad de biomasa ingresado (Gómez y Ángel, 2020, pág. 43).

El uso de estos tipos de biodigestores es más común en la zonas rurales y domésticos que requieren del consumo diario de los subproductos generados durante el proceso de digestión (Huayapa y Riveros, 2022, pág. 6). Están conectados a un gasómetro en forma de campana flotante que sirve como almacenamiento (Varnero, 2011, pág. 73). Los modelos más empleados son el modelo chino y el modelo indio, en el primero el gas es almacenado en el mismo recipiente, mientras que en el segundo debido a la presión del biogás la campana va subiendo (Tobón, 2018, pág. 32).

2.1.5.3 Continuos

Los biodigestores continuos generalmente se los emplean para el tratamiento de aguas residuales, ya que su equipo es más completo y requiere de una carga constante (Gómez y Ángel, 2020, pág. 41). El afluente que ingresa al biodigestor es igual al efluente que sale, debido a las grandes cantidades de biogás que se genera son provechados en plantas industriales, cuentan con equipos para alimentar el biodigestor, para su calefacción, agitación y para llevar un control del proceso (Huayapa y Riveros, 2022, pág. 6).

2.1.6 Clasificación de biodigestores

2.1.6.1 Biodigestor de cúpula fija (Tipo Chino)

El Biodigestor de cúpula fija cuenta con una característica similar a una esfera, su diseño es subterráneo fabricado en ladrillo o una cámara cilíndrica de fermentación (García et al., 2023, pág. 8). El tanque debe ser llenado inicialmente con un 70% de su capacidad, el gas producido se va almacenando dentro de una campana fija, transcurrido 120 a 180 días se descarga totalmente para

que se pueda reiniciar el ciclo digestivo (Durazno, 2018, pág. 27). Su vida útil estimada es de 15 y 20 años, con una capacidad que va desde 6 hasta 91 m³ (Alvarado et al., 2021, pág. 7).

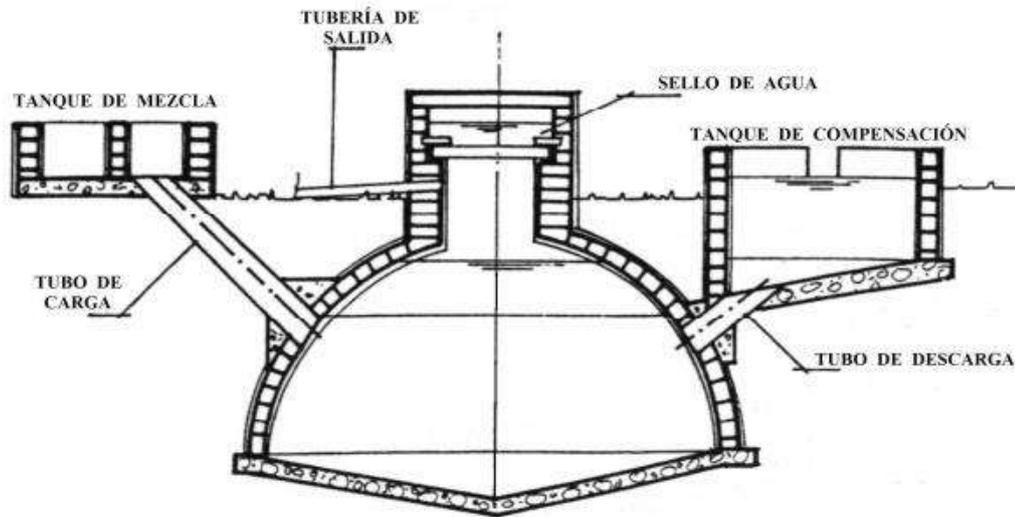


Ilustración 2-1: Biodigestor de cúpula fija (Tipo Chino)

Fuente: Alvarado et al., 2021, pág. 7.

2.1.6.2 Biodigestor de cúpula flotante (Tipo Hindú)

El biodigestor de cúpula flotante almacena el biogás en una campana, la presión es baja y constante puesto que a medida que se produce el biogás esta sube y baja cuando se consume (Arhuire y Carreón, 2020, pág. 6). La cúpula puede ser de acero, manteniendo a la presión constante, a través de una tubería se conecta para su respectivo uso (Casas et al., 2021, pág. 16). Normalmente este sistema es utilizado para la descomposición de excretas de ganado bovino y porcino (Betancourt, 2019, pág. 6).

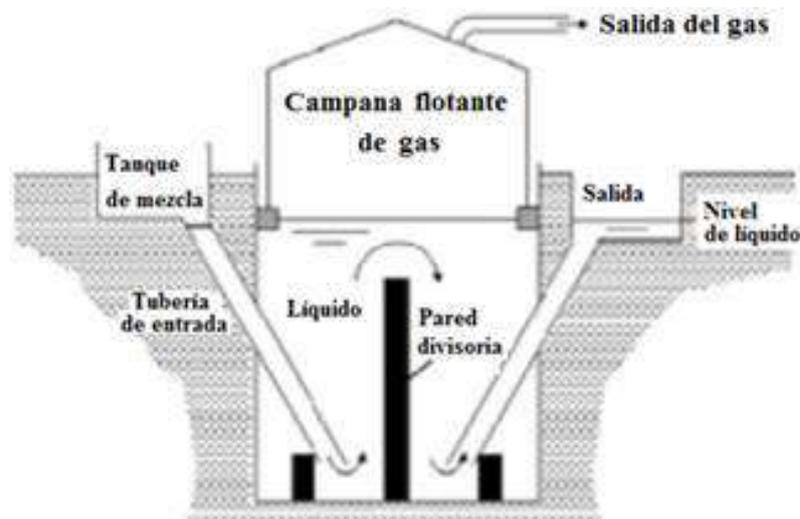


Ilustración 2-2: Biodigestor de cúpula flotante (Tipo Hindú)

Fuente: Alvarado et al., 2021, pág. 7.

2.1.6.3 Biodigestor tubular (Tipo Taiwán)

El biodigestor tubular se basa en una bolsa o balón plástico completamente sellado, fabricada en material de geomembrana de PVC, impermeable al agua y baja permeabilidad a los gases (WATERSUPPLY EC, 2022, pág.2). El gas es almacenado en la parte superior, aproximadamente un 25% del volumen total, la bolsa se va inflando lentamente debido a su presión baja, los tubos de entrada y salida están directamente sujetos a la membrana (Bautista, 2010, pág. 34). Su vida útil es de 5 años, las zonas rurales se adaptan con facilidad a estos sistemas por el bajo costo en su instalación y fácil manipulación (Durazno, 2018, pág. 27).

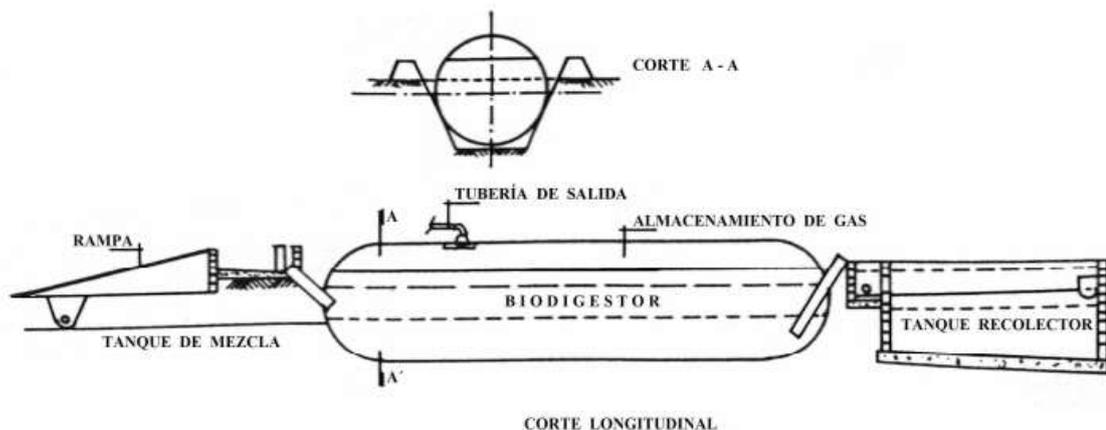


Ilustración 2-3: Biodigestor tubular (Tipo Taiwán)

Fuente: Alvarado et al., 2021, pág. 7.

2.1.7 Procesos de digestión

En los procesos de digestión se degrada la materia orgánica por la actividad de microorganismos (Mesías, 2021, pág. 18). La población microbiana es importante para la transformación de la materia orgánica, en función del oxígeno se logra una variedad de respuestas, por lo que se establecen procesos en ausencia y presencia del oxígeno (Varnero, 2011, pág. 75). Se obtiene subproductos como gas, constituido principalmente por metano, dióxido de carbono y otras trazas; también se obtiene bioabonos que permiten mejorar la fertilidad del suelo y el desarrollo adecuado de las plantas (Aparcana y Jansen, 2008, pág. 8).

2.1.7.1 Digestión aeróbica

La digestión aeróbica es un proceso donde los microorganismos requieren oxígeno para descomponer la materia orgánica en compuestos más simples y estables (Acevedo et al., 2022, pág.

12). El resultado final de este proceso es la generación de gases como el amonio y dióxido de carbono (Osorio y Ciro 2007, pág. 5).

2.1.7.2 *Digestión anaeróbica*

La digestión anaeróbica consiste en un proceso donde los microorganismos descomponen la materia orgánica en ausencia de oxígeno, el resultado de este proceso es la obtención de gases como el metano y dióxido de carbono (Lorenzo et al., 2005, pág. 36).

Durante la digestión anaeróbica se llevan a cabo 4 etapas: la primera etapa se conoce como hidrólisis donde las enzimas y bacterias transforman las moléculas orgánicas complejas presentes en moléculas más simples como azúcares, ácidos orgánicos y aminoácidos (Grijalva y Gualotuña, 2020, pág. 29). Etapa fundamental ya que ciertas moléculas orgánicas son demasiado grandes para ser absorbidas y utilizadas directamente por los microorganismos como fuente de alimento (Parra, 2015, pág. 5).

La segunda etapa es la acidogénesis, en este proceso los productos de la hidrólisis se degradan en ácidos grasos volátiles y otras moléculas orgánicas de cadena corta como ácido butírico, propiónico, acético, hidrógeno y dióxido de carbono, a través de bacterias acidogénicas (Durazno, 2018, pág. 30).

En la tercera etapa conocida como acetogénesis la mayoría de las bacterias anaeróbicas han extraído todo el alimento de la biomasa, durante su metabolismo, eliminan sus propios productos de desecho de sus células (Parra, 2015, pág. 9). Estos productos son el acetato, hidrógeno y dióxido de carbono por bacterias acetogénicas que serán utilizados por las bacterias metanogénicas en la etapa siguiente (Varnero, 2011, pág. 19).

En la última etapa denominada metanogénesis o fermentación de metano las bacterias metanogénicas bajo condiciones anaeróbicas estrictas producen metano y dióxido de carbono a través de productos intermedios como el acetato, el hidrógeno y el dióxido de carbono generados en las etapas anteriores (Cámara y Laines, 2014, pág. 24).

2.1.8 Parámetros clave en la digestión anaeróbica

Existen parámetros principales que influyen en el proceso de digestión anaeróbica, se deben controlar y mantener dentro de su rango óptimo para una producción efectiva de biogás y bioabonos (Chiriboga, 2010, pág. 19).

2.1.8.1 Tiempo de retención hidráulica (TRH)

El tiempo de retención hidráulica comprende el tiempo de duración del proceso anaeróbico. La temperatura de la región influye en el tiempo en el que los microorganismos degradan la biomasa, en sitios con bajas temperaturas se necesita un mayor tiempo de retención (Pelegrín, 2021, págs. 18-19). Existe un valor o rango óptimo que debe cumplir, al sobrepasar el TRH provoca una disminución en la velocidad de producción de biogás por unidad de volumen (FAO, 2020, pág. 10). Para la degradación del estiércol del ganado vacuno que opera bajo un rango mesofílico varían entre 20 a 45 días (WATERSUPPLY EC, 2022, pág. 4).

2.1.8.2 pH

El pH representa el grado de acidez en el biodigestor, se debe llevar un control ya que puede intervenir en la velocidad de reacción (Morales et al., 2018, pág. 7). Si el pH aumenta en exceso se puede dar la formación de amoníaco, si esta baja puede aumentar la producción de ácido acético no ionizado, por lo que resulta perjudicial para el proceso de digestión (Bautista, 2010, págs. 22-23). Los rangos óptimos de acuerdo a las bacterias son: fermentativos entre 7,2 y 7,4; acetogénicos entre 7,0 y 7,2; metanogénicos entre 6,5 y 7,5 (Pelegrín, 2021, pág. 21).

2.1.8.3 Temperatura

El proceso de digestión anaeróbica depende de la temperatura, ya que variaciones en este parámetro puede producir la disminución del crecimiento de bacterias dentro del biodigestor (Pelegrín, 2021, pág. 19). Existe un rango óptimo dependiendo de las bacterias, para las psicrófilas comprende rangos por debajo de los 20°C; mesófilas de 20°C a 40°C y las termófilas está por encima de los 40°C (WATERSUPPLY EC, 2022, pág. 4).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada y experimental utilizando un biodigestor tubular para la producción bioabonos con los que se experimentaron en distintos tratamientos, así también se recopilaron datos primarios directamente del entorno en el que se instaló el sistema. Se procedió a describir detalladamente los datos recolectados in situ para lograr una comprensión integral del proceso anaeróbico y culminó en la creación de una guía práctica destinada al uso eficiente de los biodigestores.

3.2 Enfoque de Investigación

El enfoque de la investigación es cuantitativo, con énfasis en la medición de la cantidad de biogás y bioabonos generados en el biodigestor tubular. Además, del registro de la altura final y la longitud de la raíz del culantro tras la aplicación de los bioabonos (biol y biosol).

3.3 Alcance de Investigación

El alcance de esta investigación se enfocó en la producción de biogás y bioabonos empleando un biodigestor tubular a través de la optimización del proceso digestivo mediante un monitoreo de parámetros fundamentales como la temperatura y el pH. Posterior se determinó la eficiencia de los biabonos generados. Estas actividades se llevaron a cabo durante un período de 20 semanas.

3.4 Diseño de Investigación

El diseño metodológico se enmarcó en una investigación experimental, es decir, se manipulan variables dependientes e independientes para el correcto funcionamiento del biodigestor tubular en la obtención del biogás y bioabono. Posterior se evaluó la eficiencia del bioabono en cultivos de culantro.

3.4.1 Identificación de variables

Para esta investigación se definió como variable dependiente la cantidad de biogás y bioabonos producidos a través de la biomasa y como variables independientes a la composición y la cantidad de estiércol de ganado vacuno empleado en la carga del biodigestor tubular. Dependiendo de la composición y cantidad del estiércol utilizado, se estimó la cantidad de biogás y bioabonos producidos.

3.4.2 Localización del Estudio

La presente investigación se llevó a cabo en la provincia de Orellana, cantón Francisco de Orellana, parroquia la Belleza en el Centro de Investigación e Interpretación Biótica "La Belleza" de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Orellana. El cantón Francisco de Orellana presenta una altura promedio de 254 a 300 m.s.n.m, con un clima tropical cálido húmedo y una temperatura promedio anual de 26,19 °C.

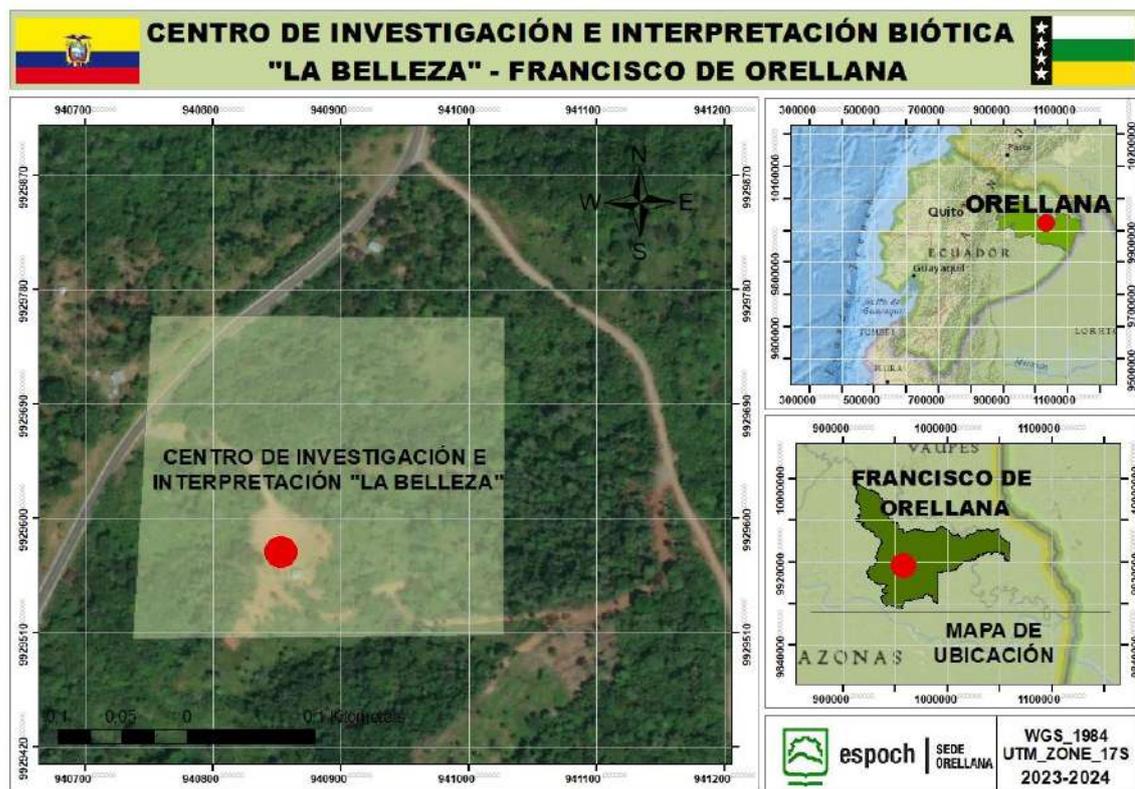


Ilustración 3-1: Mapa de ubicación en el Centro de Investigación e Interpretación Biótica “La Belleza”.

Realizado por: Yáñez G., 2023.

3.5 Población y muestra de estudio

La población de estudio fue el estiércol fresco de ganado vacuno de las fincas aledañas al Centro de Investigación e Interpretación Biótica “La Belleza”, debido a que en el período en el que se realizó la investigación el Centro de Investigación aún no contaba con ganado vacuno en sus establecimientos. La muestra de la población fue de 640 kg de estiércol fresco.

3.6 Métodos o metodología

La metodología se dividió en cuatro fases: en la primera fase se mencionaron los métodos empleados en el proceso de mantenimiento, instalación y distintas conexiones del biodigestor tubular. En la segunda fase se describieron los métodos empleados en la producción de biogás y bioabonos (biol y biosol). Mientras que en la tercera fase se detallaron los métodos empleados en la eficiencia del biol y biosol al ser aplicados en cultivos de culantro. Finalmente, en la cuarta fase se explicó la estructura de la guía práctica de operación del biodigestor tubular.

3.6.1 Primera Fase: Mantenimiento e instalación del biodigestor tubular

En la primera fase se describen los métodos y materiales empleados en el mantenimiento del biodigestor tubular. Así como el proceso de excavación de la zanja e instalación del biodigestor tubular con sus respectivos accesorios como los tubos de PV y los tanques. Finalmente se detallan las conexiones realizadas para el almacenamiento del biogás, con la finalidad de medir el gas acumulado.

3.6.1.1 Mantenimiento

El biodigestor tubular fue desplazado de su ubicación inicial con el fin de llevar a cabo la correspondiente limpieza. En la limpieza interna y externa del biodigestor se empleó una bomba de agua (12 voltios, GOTOTOP). Para la desinfección interna, se realizó una abertura de uno de los extremos, desprendiendo la geomembrana del tubo de PVC. Posterior fue sellado con pegamento (Sikaflex) y tairas de 15 cm de largo.

Se verificó el hermetismo del biodigestor, cubriendo el tubo de ingreso. De la prueba realizada se identificaron 4 agujeros, que fueron sellados empleando pegamento y parches (5x5 cm) para tubo de neumático. Se mantuvo el biodigestor lleno de aire durante 6 horas para verificar que no exista

fugas. Todos los accesorios del biodigestor como los tanques y las conexiones de PVC fueron lavados para evitar la presencia de sustancias extrañas en el proceso de digestión anaeróbica.

Tabla 3-1: Equipos y materiales para el mantenimiento

N°	Equipos y Materiales
1	Sellador Sikaflex
2	Amarras plásticas negras (Tairas)
3	Parches para tubo de neumático
4	Pegamento para tubo de neumático
5	Biodigestor tubular
6	Tanque de recepción (salida inferior)
7	Tanque de recolección (salida superior)
8	Conexión PVC en Y de ingreso
9	Conexión PVC de salida
10	Bomba de agua
11	Compresor

Realizado por: Yáñez G., 2023.



Ilustración 3-2: Mantenimiento del biodigestor tubular

Realizado por: Yáñez G., 2023.

3.6.1.2 Excavación de la zanja

El biodigestor tubular fue instalado cerca del Centro de Investigación e Interpretación Biótica “La Belleza” en un área de fácil ingreso para la carga de la biomasa. Se realizó una limpieza del sitio ocupando un área de 3 m de ancho por 13 m de largo. El sistema fue implementado en una zanja delimitada por dos rectángulos. En la fase inicial, se realizó una excavación de 40 cm de profundidad en toda la extensión del rectángulo, con dimensiones de 1,50 m de ancho por 7 m de largo. Para el segundo rectángulo, con dimensiones de 80 cm de ancho por 7 m de largo, se excavó a una profundidad de 50 cm. Para concluir, se efectuó un chaflán diagonal en ambos lados.

Para colocar los tanques del biodigestor tubular, se tomó como referencia la puesta de sol. El tanque de recepción del biodigestor fue colocado del lado Oeste (puesta del sol) con la finalidad de aprovechar la posición del sol al final del día. Maximizando la exposición del biodigestor a la luz solar durante las últimas horas de la tarde, lo cual resulta beneficioso para los procesos de digestión anaeróbica. Mientras que el tanque de recolección fue colocado en el lado Este (salida del sol).

Para instalar el tanque de recepción, se cavó un agujero de 25 cm de profundidad y 50 cm de diámetro. Además, para brindar soporte al tubo de PVC 4” que conecta con el tanque de recepción, se realizó una excavación de 20 cm de ancho, 60 cm de largo y 15 cm de profundidad.

Tabla 3-2: Materiales para la excavación de la zanja

Nº	Materiales
1	Palas manuales
2	Machetes
3	Azadones
4	Cava hoyos
5	Caretilla
6	Piola

Realizado por: Yáñez G., 2023.

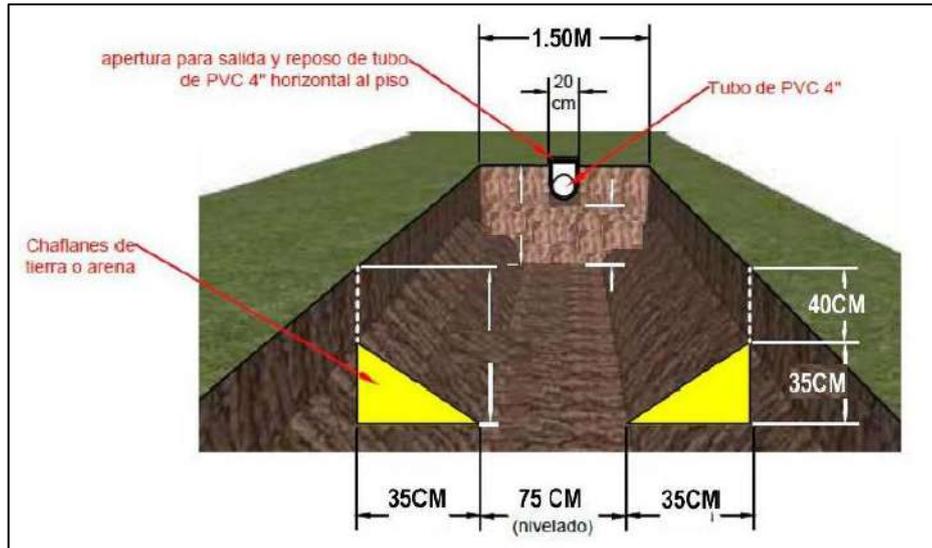


Ilustración 3-3: Excavación de la zanja

Fuente: WATERSUPPLY EC, 2022

3.6.1.3 Instalación del biodigestor tubular

Para la instalación del biodigestor, se cubrió el área con geotextil para su protección y la geomembrana fue extendida a lo largo de la zanja para conectar los tubos de PVC con los tanques de recepción y recolección. El tanque de recepción con salida en la parte inferior, se colocó en el agujero de 50 cm de diámetro. La conexión se basó en un tubo de PVC en Y conectado al tanque y a la geomembrana. El tanque de recolección con salida en la parte superior fue colocado dentro de la zanja realizando conexiones de PVC. Se utilizó pegamento para tubo de PVC en cada conexión con la finalidad de evitar fugas de biogás.

Tabla 3-3: Equipos y materiales para la instalación del biodigestor

N°	Equipos y Materiales
1	Biodigestor tubular
2	Tanque de recepción (salida inferior)
3	Tanque de recolección (salida superior)
4	Conexión PVC en Y de ingreso
5	Conexión PVC de salida
6	Geotextil protector
7	Pegamento de tubo de PVC

Realizado por: Yáñez G., 2023.



Ilustración 3-4: Instalación del biodigestor tubular en la zanja

Realizado por: Yánez G., 2023.

3.6.1.4 Conexión salida del biogás

En la parte superior del biodigestor se encuentra una conexión universal para la salida del biogás. Esta conexión universal, se conectó a un bushin 3/4 con reducción a 1/2 junto a una unión y a un codo que finaliza con una llave de la misma medida. Posterior se conectó a una unión de 1/2 con salida para la manguera ajustado con una abrazadera.

Para la conexión de la manguera con el tubo de neumático se conectó un bushin de 3/8 con reducción a 1/2 conectado a un codo, una unión con una T. Finaliza con una unión de la misma medida con salida para la manguera ajustado con una abrazadera. Posterior se conectaron a una unión de 1/2 junto a una llave y finalmente conectado a una unión de la misma medida con salida para la manguera, ajustándolo con una abrazadera. Las conexiones se los realizó con ayuda de un teflón para darle mayor ajuste.

Tabla 3-4: Materiales para la salida del biogás

Nº	Materiales conexión salida de biogás-manguera	Materiales conexión manguera-tubo de neumático
1	Conexión universal	Bushin de 3/8 con reducción a 1/2
2	Bushin 3/4 con reducción a 1/2	Codo de 1/2
3	Unión de 1/2	Dos uniones de 1/2
4	Codo de 1/2	Una T de 1/2
5	Llave de 1/2	Una unión de 1/2 con salida para la manguera con abrazadera
6	Unión de 1/2 con salida para la manguera	Llave de 1/2
7	Dos abrazaderas	Unión 1/2 con salida para la manguera
8	Teflón	Abrazadera
9	Llave de pico	Llave de tubo

Realizado por: Yánez G., 2023.



Ilustración 3-5: Conexión salida del biogás

Realizado por: Yánez G., 2023.

3.6.2 Segunda Fase: Producción de biogás, biol y biosol

En la segunda fase se detallan los métodos y materiales empleados en la recolección y muestreo del estiércol. Así como la carga o llenado del biodigestor, monitoreo y control de las variables clave en el proceso de digestión anaeróbica. De igual manera, el proceso para medir el biogás almacenado a través de un ensayo de probeta expresado en mililitros. A su vez se menciona el procedimiento para verificar la presencia de gas mediante un ensayo de flama. Por otra parte, se detallan los métodos empleados en la extracción o descarga del biol y biosol. Finalmente se describe el procedimiento en el muestreo del biosol para el análisis de los nutrientes.

3.6.2.1 Recolección del estiércol

Se recolectó el estiércol en sacos con capacidad de 40 kg, directamente del establo. La recolección se realizó a las 9 de la mañana, aprovechando la salida del ganado al pastoreo. En 15 días consecutivos se recolectaron 640 kg de estiércol. Una vez recolectado el abono necesario para la carga del biodigestor fue transportado al Centro de Investigación e Interpretación Biótica “La Belleza”.

Tabla 3-5: Equipos y materiales para la recolección del estiércol

N°	Equipos y Materiales
1	Pala manual
2	Sacos
3	Balanza
4	Guantes

Realizado por: Yáñez G., 2023.



Ilustración 3-6: Recolección del estiércol

Realizado por: Yánez G., 2023.

3.6.2.2 *Muestreo del estiércol*

Una vez recolectado el estiércol, se realizó una mezcla homogénea entre el estiércol recolectado en los primeros 15 días y el estiércol recolectado en los últimos días. Se llevó a cabo una verificación exhaustiva para detectar la presencia de materiales indeseados, tales como fragmentos de madera, plástico, entre otros, que pudieran provocar interferencias en los análisis. Se redujeron los fragmentos de gran tamaño a pequeños trozos con el objetivo de evitar la formación de grumos durante la mezcla de estiércol: agua.

La biomasa fue homogeneizada cuidadosamente antes de tomar la muestra, la cual se recopiló en un recipiente de polipropileno (PP) debidamente etiquetado. De acuerdo con Gavilanes et al. (2023, pág. 31), el rotulado de las muestras debe contener información básica como ubicación, nombre del responsable, fecha, hora y las coordenadas. Posterior, utilizando un cooler, se trasladó al laboratorio Ambiental LABSU para llevar a cabo análisis de pH, así como la evaluación de Nitrógeno, Fósforo y Potasio, esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Tabla 3-6: Materiales muestreo de estiércol

N°	Materiales
1	Recipientes de polipropileno (PP)
2	Guantes
3	Cooler

Realizado por: Yáñez G., 2023.



Ilustración 3-7: Toma de muestra para los análisis

Realizado por: Yáñez G., 2023.

3.6.2.3 Carga del biodigestor

El biodigestor fue cargado con estiércol de ganado vacuno disuelto en agua en una proporción de 1:3. Corresponde una parte de estiércol fresco disuelto en tres partes de agua. El sistema utilizado fue de flujo discontinuo ya que la carga se realizó de manera completa al inicio y la descarga una vez transcurrido los 45 días de haber iniciado el proceso de digestión.

Se colocó en un tanque de 200 L tres baldes de estiércol con capacidad de 20 L, equivalente a 20 kg de estiércol y nueve baldes de agua con una capacidad de 20 L. Llenando el tanque con 60 kg de estiércol y 180 L de agua para la mezcla. Se homogenizó la mezcla estiércol: agua para evitar la acumulación de grumos en la disolución, permitiendo así iniciar el proceso de carga del biodigestor por el tanque de recepción. Este método se repitió durante dos días hasta llenar el

biodigestor con 500 kg de estiércol y 1500 L de agua. A los nueve días de iniciar el proceso digestivo, el biodigestor presentó fallas en la geomembrana, requiriendo la aplicación de parches. Al presentar fuga de la biomasa se volvió a cargar hasta completar 640 kg de estiércol y 1920 L de agua.

Tabla 3-7: Materiales para cargar el biodigestor

N°	Materiales
1	Palas manuales
2	Tanque de 200 L
3	2 baldes de 20 L
4	Plástico
5	Estiércol
6	Agua

Realizado por: Yánez G., 2023.



Ilustración 3-8: Mezcla estiércol: agua y carga del biodigestor tubular

Realizado por: Yánez G., 2023.

3.6.2.4 Monitoreo y control de variables

Con el fin de llevar a cabo el monitoreo y control, se supervisaron las variables que podrían influir en el proceso digestivo, tales como la temperatura y el pH de la biomasa utilizada. La muestra fue extraída por el tanque de recepción por medio del Tubo de PVC en Y. Para ello se utilizó una manguera y un recipiente de plástico de polipropileno. El recipiente fue lavado en tres ocasiones para asegurar la representatividad de la muestra.

Se empleó un higrómetro para medir la temperatura de la muestra y verificar que se encontrara dentro del rango óptimo para el desarrollo de los microorganismos (25°C – 40 °C). La muestra fue etiquetada en base a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2176 (2013, pág. 10), donde se establecen parámetros básicos de rotulado como la localización del sitio de muestreo, fecha, hora, nombre del recolector, coordenadas, condiciones atmosféricas, etc. Por último, la muestra se depositó en un cooler y se transportó al laboratorio Ambiental LABSU para realizar el análisis del pH, cuyo valor debía encontrarse entre 7,0 a 7,8.

Tabla 3-8: Equipos y materiales para el muestreo de estiércol: agua

N°	Equipos y Materiales
1	Recipientes de polipropileno (PP)
2	Guantes
3	Cooler
4	Manguera
5	Hoja de registro
6	Esfero
7	Higrómetro
8	Biodigestor

Realizado por: Yáñez G., 2023.



Ilustración 3-9: Monitoreo y control pH y temperatura

Realizado por: Yánez G., 2023.

3.6.2.5 *Ensayo de probeta*

Después de 35 días de digestión y mantener el hermetismo del biodigestor, se llevó a cabo la cuantificación del biogás mediante un ensayo de probeta. Para llevar a cabo esta medición, se cerró la válvula de la primera conexión con el objetivo de interrumpir la liberación continua de gas. Luego, se procedió a desconectar el tubo de neumático de la manguera. Un extremo de esta manguera se insertó en una probeta (1000 ml) llena de agua, posterior se insertó la probeta de forma invertida en una jarra de plástico. Acto seguido, se abrió la válvula, observando la presencia de biogás mediante la disminución del nivel de agua en la probeta, y se registró la medida correspondiente al punto de descenso. Para determinar la cantidad de biogás generado, se realizó una diferencia entre el volumen de agua inicial y el volumen de agua desplazado.

Tabla 3-9: Equipos y materiales para el ensayo con la probeta

N°	Equipos y Materiales
1	Probeta de 1000 ml
2	Jarra de plástico
3	Biodigestor
4	Manguera
5	Manguera (salida de gas)
6	Agua

Realizado por: Yánez G., 2023.



Ilustración 3-10: Ensayo de probeta

Realizado por: Yáñez G., 2023.

3.6.2.6 Ensayo de flama

Para verificar la presencia de gas, se llevó a cabo el ensayo de la flama. En este proceso, se abrió la válvula de gas y se posicionó la manguera cerca de un fósforo o encendedor. La formación de la llama afirma la existencia de gas en el biodigestor, y su extensión varió según la cantidad de gas producido. La prueba también se realizó en horario nocturno.

Tabla 3-10: Equipos y materiales para el ensayo de flama

N°	Equipos y Materiales
1	Biodigestor
2	Manguera (salida de gas)
3	Fósforo o encendedor

Realizado por: Yáñez G., 2023.



Ilustración 3-11: Ensayo de flama en el día y en la noche

Realizado por: Yánez G., 2023.

3.6.2.7 *Extracción del biol y biosol del biodigestor tubular*

Al completar los 45 días del proceso digestivo, se inició la descarga del digestor. El biol se extrajo del extremo del tanque de recepción, dado que en esa área se concentraba mayor cantidad de efluente. Para facilitar la descarga, se desconectó el tubo de entrada de las demás conexiones. Con un balde de 20 litros, se extrajo el biol y se almacenó en tanques de 200 y 500 litros, así como en canecas y botellas plásticas.

El biosol se sometió a un proceso de filtración utilizando una zaranda de dimensiones 1 m x 1m y una porosidad de 1,5 mm. La fracción líquida resultante se transfirió a tanques de 200 litros, mientras que la porción sólida se extendió sobre el plástico para llevar a cabo el proceso de secado a temperatura ambiente. Posterior, el material sólido se trituró con ayuda de un mortero de madera y seguidamente se tamizo con una zaranda. Finalmente, el producto fue empaquetado en sacos de prolipropileno 60 cm x 90 cm y bolsas con cierre Zipper Bags 14,9 cm×16,5 cm.

Tabla 3-11: Equipos y materiales para la extracción del biol y biosol

N°	Herramientas y Materiales
1	Biodigestor
2	Palas
3	2 Tanques de 200 L
4	Tanque de 500 L
5	Baldes de 20 L
6	5 Canecas
7	19 Botellas plásticas
8	Jarra de plástico
9	Zaranda
10	Mortero de madera
11	Plástico
12	Sacos de prolipropileno (PP)
13	Bolsas con cierre Zipper Bags

Realizado por: Yánez G., 2023.



Ilustración 3-12: Extracción del biol y biosol

Realizado por: Yánez G., 2023.

3.6.2.8 Muestreo del biosol

Después de completar las etapas de secado, triturado y tamizado del biosol. Se procedió a recolectar una muestra de la fracción sólida, depositándola en bolsas de polipropileno. Esta muestra fue debidamente etiquetada y trasladada al laboratorio AQLab con el propósito de realizar análisis de pH, contenido de Nitrógeno, Fósforo y Potasio, fundamentales para el óptimo crecimiento y desarrollo de las plantas.

Tabla 3-12: Materiales muestreo de biosol

N°	Materiales
1	Fundas herméticas c/cierre Zip zap
2	Guantes
3	Balanza colgante 5 kg

Realizado por: Yánez G., 2023.



Ilustración 3-13: Muestreo de Biosol

Realizado por: Yánez G., 2023

3.6.3 Tercera Fase: Eficiencia del biol y biosol

En la tercera fase se describen los métodos y materiales empleados: en la preparación de las parcelas; el muestreo del suelo inicial y final para los análisis de las propiedades como el Nitrógeno, Fósforo y Potasio. Así también el procedimiento en el trasplante del culantro, el proceso en la aplicación de los distintos tratamientos. Además, la cuantificación de las variables analizadas y el análisis estadístico aplicado a los datos recolectados para establecer el efecto más significativo en el desarrollo del culantro.

3.6.3.1 Preparación de las parcelas

Para la aplicación de biol y biosol, se acondicionaron cuatro parcelas de 1 m de ancho por 3 m de largo con una altura de 15 cm. Previo a esto, se llevó a cabo una exhaustiva limpieza del área, definiendo las parcelas mediante estacas y piola, con un espacio de 50 cm entre cada una para facilitar el acceso. Posterior, se procedió a la remoción del suelo con el objetivo de descompactar la tierra y mejorar sus condiciones. Se ejecutó la fase final de remoción del suelo utilizando cascarilla de arroz, ya que esta contribuye a la retención del agua y mejora la calidad de los nutrientes en el suelo.

Tabla 3-13: Materiales para la preparación de las parcelas

N°	Materiales
1	Azadón
2	Palas manuales
3	Machete
4	Piola
5	Flexómetro

Realizado por: Yáñez G., 2023.



Ilustración 3-14: Preparación de las parcelas

Realizado por: Yáñez G., 2023.

3.6.3.2 *Muestreo del suelo inicial*

Para la caracterización del suelo de cultivo de culantro, se seleccionó aleatoriamente una muestra de cada una de las cuatro parcelas utilizando una pala. El método empleado consistió en cavar en forma de "V" hasta una profundidad de 30 cm, extrayendo aproximadamente entre 100 y 200 g de suelo. Estas muestras se colocaron en un balde limpio, asegurando una mezcla homogénea que representara adecuadamente las condiciones del suelo.

A través de un cuarteo, excluyendo los cuadrantes opuestos, se obtuvo 500 g de suelo, este fue depositado en fundas herméticas c/cierre Zip zap 16,5×14,9 cm. Las muestras fueron etiquetadas en base a la guía de Agrocalidad (2018, pág. 7), donde se establecen parámetros básicos de rotulado como la localización del sitio de muestreo, fecha, hora, responsable de la toma de muestra, tipo de fertilización, etc. Finalmente fue trasladada al laboratorio AQLab para llevar a cabo los análisis de pH, Nitrógeno, Fósforo y Potasio.

Tabla 3-14: Materiales muestreo de suelo inicial

N°	Materiales
1	Balde 20L
2	Pala manual
3	Fundas herméticas c/cierre Zip zap
4	Guantes

Realizado por: Yánez G., 2023.

3.6.3.3 *Trasplante de culantro*

Para llevar a cabo el trasplante del culantro, fueron tomadas 60 plántulas de forma aleatoria. Posterior se crearon surcos horizontales en cada parcela con una separación de 40 cm, conteniendo 5 surcos por lote. La distancia entre cada planta de culantro se mantuvo en 10 cm. Lo que permitió sembrar 15 plantas. La altura de las plántulas en el trasplante fue entre 3 cm y 4 cm.

Tabla 3-15: Materiales y recursos para el trasplante

N°	Materiales y recursos
1	Plantas de culantro
2	Pala manual pequeña

Realizado por: Yánez G., 2023.



Ilustración 3-15: Trasplante de culantro

Realizado por: Yánez G., 2023.

3.6.3.4 Tratamientos

En esta investigación se emplearon cuatro tratamientos con una proporción de 1:1, con la finalidad de estudiar el rendimiento de los bioabonos durante el ciclo de crecimiento vegetal.

Tabla 3-16: Proporción durante el ciclo de crecimiento vegetal

Tratamiento	Proporción	
Testigo	No se aplicó abonos	0:0
Biol	4 L de biol diluido con 4 L de agua	1:1
Biosol	4 L de biosol diluido con 4 L de agua	1:1
Biol+Biosol	2 L de Biol + 2 L de Biosol diluido con 4 L de agua	1:1

Realizado por: Yáñez G., 2023.

3.6.3.5 Aplicación de biol y biosol

Los bioabonos fueron aplicados semanalmente durante cinco semanas, considerando el período de desarrollo de la planta hasta el día de la cosecha. El biol diluido se aplicó en el suelo y en el follaje como abono foliar, es decir, directamente sobre las hojas. En cuanto al biosol diluido y la combinación de biol + biosol, se aplicaron mediante riego directo al suelo, utilizando un recipiente de plástico.

Tabla 3-17: Materiales para la aplicación del biol y biosol

N°	Materiales y Recursos
1	Balde 20L
2	Recipiente de plástico
3	Biol
4	Biosol
5	Agua

Realizado por: Yáñez G., 2023.



Ilustración 3-16: Aplicación de los tratamientos en el cultivo de culantro

Realizado por: Yáñez G., 2023.

3.6.3.6 Variables analizadas

Durante el estudio del ciclo de desarrollo del culantro, se consideraron dos variables principales: la altura final de la planta (cm) y la longitud de la raíz (cm) en los distintos tratamientos. Para garantizar la precisión en las mediciones, se utilizó un calibrador o pie de rey.

Tabla 3-18: Materiales de medición

N°	Materiales
1	Calibrador o pie de rey
2	Guantes
3	Bandeja
4	Hoja de registro

Realizado por: Yáñez G., 2023.

3.6.3.6.1 Altura final del culantro

Al cumplir cinco semanas de la fase experimental se midió la altura final de las plántulas, previo a la cosecha.



Ilustración 3-17: Medición del culantro

Realizado por: Yáñez G., 2023.

3.6.3.6.2 Longitud de la raíz

Se desinfectó las raíces con la finalidad de obtener datos precisos, previo a la determinación de la longitud de la raíz en cada uno de las plántulas de los tratamientos.



Ilustración 3-18: Medición de las raíces del culantro

Realizado por: Yáñez G., 2023.

3.6.3.7 Muestreo del suelo final

Para la caracterización del suelo en los distintos tratamientos, se seleccionó aleatoriamente unas dos proporciones de la parcela. El método empleado consistió en cavar en forma de "V" hasta una profundidad de 30 cm, extrayendo aproximadamente entre 200 y 300 g de suelo. Estas muestras se colocaron en una bandeja limpia, asegurando una mezcla homogénea que representara adecuadamente las condiciones del suelo.

A través de un cuarteo, excluyendo los cuadrantes opuestos, se obtuvo una muestra de 500 g de suelo, depositado en fundas herméticas c/cierre Zip zap 16,5×14,9cm. Este proceso se repitió para las dos parcelas restantes. Las muestras fueron etiquetadas en base a la guía de Agrocalidad (2018, pág. 7), donde se establecen parámetros básicos de rotulado como la localización del sitio de muestreo, fecha, hora, responsable de la toma de muestra, tipo de fertilización, etc. Finalmente fueron trasladadas al laboratorio AQLab para llevar a cabo los análisis de pH, Nitrógeno, Fósforo y Potasio.

Tabla 3-19: Materiales muestreo de suelo final

N°	Materiales
1	Bandeja
2	Pala manual
3	Fundas herméticas c/cierre Zip zap
4	Guantes

Realizado por: Yáñez G., 2023.



Ilustración 3-19: Muestreo del suelo aplicado los tratamientos

Realizado por: Yáñez G., 2023.

3.6.3.8 *Análisis estadístico*

Los tratamientos fueron distribuidos siguiendo el Diseño Experimental Completamente al Azar (DCA), ya que cada parcela tiene las mismas condiciones para recibir cualquier tratamiento. Se trabajó con cuatro tratamientos y 15 plántulas en cada una de las parcelas. Los datos recolectados fueron empleados en análisis estadísticos, ejecutando un análisis de varianza (ANOVA) para aceptar o rechazar la hipótesis nula. Así también se realizó la prueba de comparación de medias, a través de la prueba de Tukey. Para ello se utilizó el software estadístico Minitab.

3.6.4 *Cuarta Fase: Guía práctica de operación del biodigestor tubular*

En base a los resultados y la biomasa utilizada (estiércol) se estableció los lineamientos para el adecuado uso del biodigestor tubular en el Centro de Investigación e Interpretación Biótica “La Belleza”, para ello se definió los conceptos básicos; componentes y mantenimiento del biodigestor tubular; pasos en la excavación de la zanja e instalación; conexión de la salida del biogás; recolección del estiércol; carga del biodigestor tubular; monitoreo y control de variables; ensayo de probeta y flama; descarga del biodigestor tubular y finalmente el uso del biol y biosol en cultivos.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Procesamiento, análisis e interpretación de resultados

En este segmento se desglosan los resultados obtenidos en las fases experimentales: en la primera fase se describe el desempeño del biodigestor a lo largo de un período de 45 días; en la segunda fase correspondiente a la producción de biogás se detallan los datos de las variables monitoreadas y la correlación que presentan; en la tercera fase se presentan los datos recopilados en el desarrollo del culantro como su altura final y la longitud de la raíz; y en la cuarta fase se redacta la guía práctica de operación del biodigestor tubular.

4.1.1 Primera Fase: Mantenimiento e instalación del biodigestor tubular

Al inicio del proceso de digestión anaeróbica fue evidente el incremento del volumen del biodigestor que se relaciona a la producción de biogás. Así también se presentaron fisuras en el extremo receptor de la geomembrana, asociada a la manipulación en los días previos a la instalación o el continuo uso del sistema. Siendo sellado con un fragmento del mismo material adherido con pegamento de poliuretano (llama roja).

Después de 18 días de mantener el biodigestor herméticamente cerrado, la biomasa completó la fase final del proceso digestivo, conocida como metanogénesis. Su volumen aumentó notablemente debido a la generación de gas, llegando incluso a sobrepasar la capacidad de la zanja. A pesar de estos resultados la baja presión impidió que el gas se almacenara en el tubo de neumático.

El biodigestor se mantuvo en un rango de temperatura ambiente que varió entre 26 °C y 32 °C, mientras que la biomasa se conservó en un intervalo de 27 °C a 32 °C. Durante la mayoría de los días, las condiciones del clima se mantuvieron soleadas, generando un entorno propicio para el desarrollo óptimo de las bacterias anaeróbicas. En la Tabla 4-1 se detalla el monitoreo y control del biodigestor. Los días 6, 9, 18 y 45 se llevó el monitoreo en horarios de la mañana, el día 24 al medio día y los días 3, 12, 15, 21, 27, 30, 33 y 36 en horarios de la tarde. El horario del monitoreo varió debido a la distancia de ubicación del biodigestor.

Tabla 4-1: Monitoreo y control del biodigestor tubular

Tiempo de retención	Fecha	Hora	Clima	Observaciones
3	31/10/2023	13h00	Nublado	Ninguna
6	3/11/2023	11h50	Soleado	Inicio de producción de biogás, el biodigestor se encuentra con un leve volumen.
9	6/11/2023	10h00	Soleado	Fuga de la mezcla en la parte inferior de la geomembrana por la parte de recepción.
12	9/11/2023	15h30	Soleado	Inicio de producción de biogás, el biodigestor se encuentra con un volumen más pronunciado en comparación al día 6.
15	12/11/2023	16h45	Soleado	Continua la elevación del biodigestor.
18	15/11/2023	10h45	Soleado	El biodigestor se encuentra con un volumen mayormente pronunciado en comparación al día 15, sobrepasa la zanja.
21	18/11/2023	17h26	Soleado	El biodigestor se encuentra con un volumen mayormente pronunciado.
24	21/11/2023	12h11	Soleado	El biodigestor se encuentra con un volumen mayormente pronunciado.
27	24/11/2023	14h57	Nublado	El biodigestor se encuentra con un volumen mayormente pronunciado.
30	30/11/2023	14H45	Soleado	El biodigestor se encuentra con un volumen mayormente pronunciado.
33	5/12/2023	17H00	Soleado	El biodigestor se encuentra con un volumen mayormente pronunciado.
36	10/12/2023	15H34	Soleado	El biodigestor se encuentra con un volumen mayormente pronunciado.
45	12/12/2023	09H00	Soleado	Descarga del biol y biosol

Realizado por: Yáñez G., 2023.

4.1.2 Segunda Fase: Producción de biogás, biol y biosol

4.1.2.1 Control de temperatura

Durante el proceso de digestión anaeróbica, las fluctuaciones de temperatura ambiente oscilaron entre 26,2 °C y 38,7 °C, beneficioso para mantener el biodigestor en condiciones óptimas. Estas condiciones contribuyeron a estabilizar la temperatura de la biomasa, registrando valores entre 27,7 °C y 36°C. Situándose dentro del rango óptimo 25°C a 40 °C para los microorganismos mesofílicos mencionados por WATERSUPPLY EC (2022).

Tabla 4-2: Monitoreo y control de la Temperatura

Tiempo de Retención	Hora	Temperatura °C	
		T° Ambiente	T° Biomasa
3	13h00	29,8	28,5
6	11h50	38,7	36
9	10h00	36,7	33,4
12	15h30	32,9	29,8
15	16h45	31,1	32,7
18	10h45	30,3	30,5
21	17h26	32,2	32,3
24	12h11	29	27,7
27	14h57	26,2	27,7
30	14H45	30,5	31,6

Realizado por: Yánez G., 2023.

4.1.2.2 Control de pH

Durante el inicio de proceso de digestión anaeróbica el pH se mantuvo neutro con valores de 7,51 y 7,24. Sin embargo, a los nueve días presentó un valor de 6,5, atribuido a la presencia de oxígeno dentro del biodigestor debido a una fisura en la geomembrana. Al tercer día de la reparación de la ruptura su valor se encontraba en 8, 14, resultado de nueva recarga de la biomasa.

En los días siguientes, el pH se mantuvo en un rango entre 7,1 y 7,74, considerado óptimo para el desarrollo de los microorganismos (Pelegrín, 2021, pág. 7). Durante los últimos días, se realizó un seguimiento utilizando tiras medidoras de pH, observando valores estables. Los resultados indicaron un pH constante de 7 en estas mediciones.

Tabla 4-3: Monitoreo y control de pH

Tiempo de Retención	Hora	pH
3	13h00	7,51
6	11h50	7,24
9	10h00	6,5
12	15h30	8,14
15	16h45	7,1
18	10h45	7,74
21	17h26	7,26
24	12h11	7,19
27	14h57	7,34
30	14H45	7,59
33	17H00	7
36	15H34	7

Realizado por: Yáñez G., 2023.

4.1.2.3 *Correlación entre variables*

Para determinar la correlación existente entre las variables se evaluó la distribución normal de los datos de T° Ambiente, T° Biomasa y pH, empleando la prueba de Anderson-Darling con un nivel de confianza del 95%, para determinar que los datos se distribuyan alrededor de la media. El p-value de la T° Biomasa es de 0,893; de la T° Ambiente es de 0,246 y del pH es de 0,703, valores que resultan mayor al nivel de significancia (0,05), indicando que existe evidencias estadísticas suficientes de que los datos para las tres variables siguen una distribución normal (Anexo C). Por lo tanto, se puede aplicar una prueba de correlación.

Comprobado la distribución normal de los datos se realizó la correlación de Pearson, comparando las variables de T° Biomasa, T° Ambiente y pH, este valor debe situarse en -1 y 1, donde un valor más cercano a 1 significa una correlación fuerte entre variables y valores entre -1 indica una correlación inversa fuerte.

Tabla 4-4: Correlación entre variables

Variables	Correlación Pearson
T° biomasa – pH	-0,33
T° ambiente – T° biomasa	0.860
T° ambiente – PH	-0.319

Realizado por: Yáñez G., 2023.

En la Tabla 4-4 se observa que la correlación existente entre la T° Biomasa y la T° Ambiente tiene un valor de 0,86. Demostrando que existe una correlación fuerte entre estas dos variables, es decir, que a medida que la T° Ambiente aumenta, también asciende la T° de la Biomasa. La relación entre temperaturas y pH es muy baja y además negativa, para la relación T° Ambiente - pH se obtuvo un valor de -0,319 y para la T° Biomasa – pH fue de -0,33. Indicando una correlación inversa, es decir, que mientras el valor de la temperatura aumenta, los del pH descienden (Ilustración 4-1). Para obtener valores de r más confiables se debería estudiar un mayor número de datos.

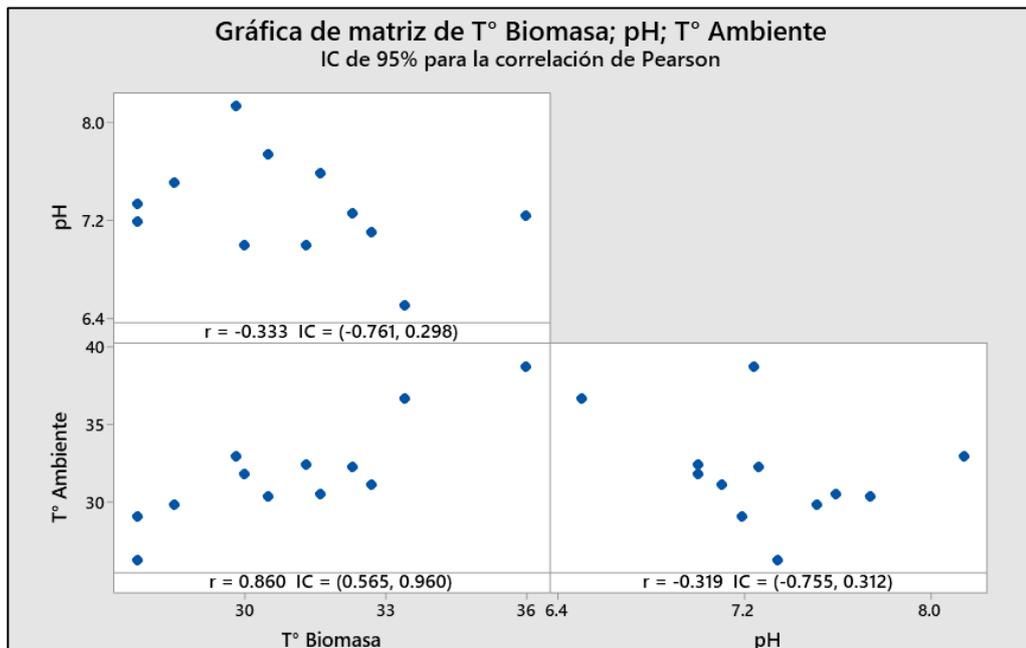


Ilustración 4-1: Correlación entre la Temperatura Ambiente, Temperatura Biomasa y pH.

Realizado por: Yáñez G., 2023.

4.1.2.4 Volumen de biogás

Utilizando los datos recopilados durante el ensayo de la probeta, se logró registrar mediciones del volumen de biogás en las etapas finales del proceso digestivo. En la Tabla 4-5 se observa valores que oscilaron entre 380 y 560 ml de volumen diario de metano (CH₄). Se aprecia un aumento de 20 ml diario, a diferencia del día 37, ya que se observa un aumento de 30 ml y en el día 41 varía con 10 ml.

Tabla 4-5: Monitoreo y control de producción de biogás

Tiempo de Retención	Hora	Biogás		
		Valor Inicial (ml)	Valor Final (ml)	Volumen diario CH ₄ (ml)
35	15h30	340	720	380
36	15H00	350	750	400
37	12h11	380	810	430
38	14h34	450	900	450
39	16H45	430	900	470
40	16H00	420	910	490
41	15H34	400	900	500
42	14H00	480	1000	520
43	16H22	430	970	540
44	16H02	420	980	560

Realizado por: Yáñez G., 2023.

En la Ilustración 4-2 se aprecia un aumento notable en la producción de biogás a medida que progresa el tiempo de retención. Este incremento se atribuye a la hermeticidad mantenida en el biodigestor durante los primeros días. Al permitir la acumulación del gas y generar una mayor presión, se facilita la medición precisa del mismo.

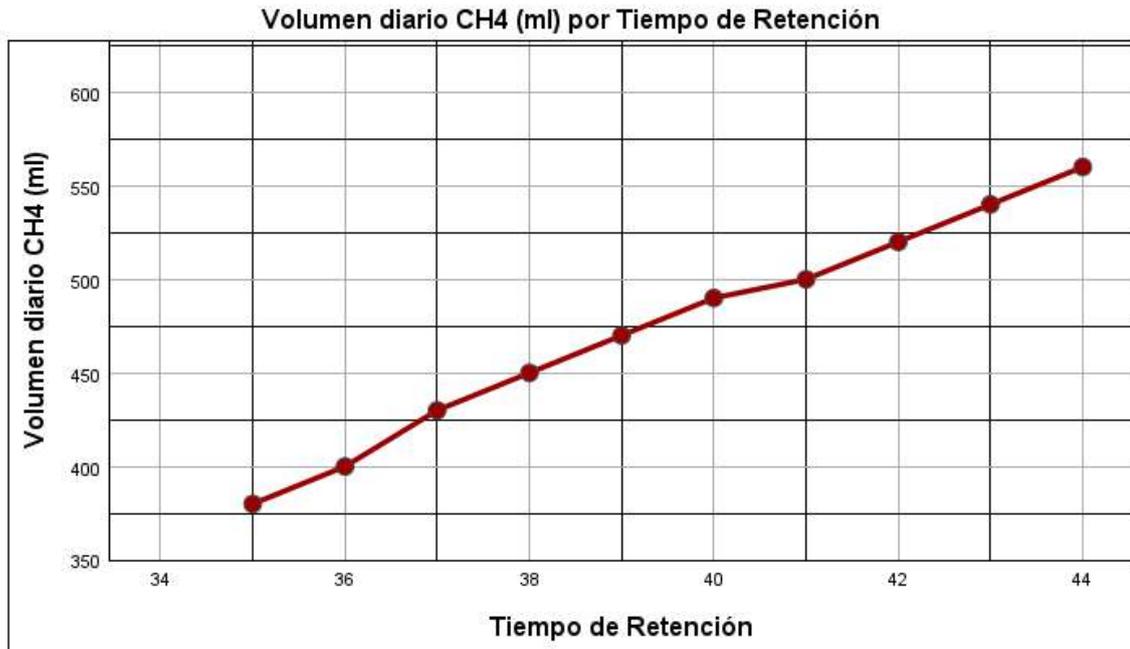


Ilustración 4-2: Volumen diario de CH₄ en el biodigestor

Realizado por: Yáñez G., 2023.

4.1.2.5 Nutrientes del estiércol y biosol

En base a los resultados de los análisis el estiércol se acepta la hipótesis alternativa dado que inicialmente presentaba concentraciones de Fósforo: 30,86 mg/Kg; Nitrógeno: 0,56% y Potasio: 564,728 mg/kg; con un pH de 8,72. Al pasar por un proceso de digestión anaeróbica con una duración de 45 días las concentraciones variaron presentando valores de Fósforo: 188,31 mg/Kg; Nitrógeno: 0,76 % y Potasio: 4379 mg/kg; con un pH de 7,49. Observando un incremento en el Fósforo con 157,45 mg/Kg, Nitrógeno con 0,2% y Potasio con 3814,272 mg/Kg; y una disminución en el pH con 1,23 como se aprecia en la Ilustración 4-3.

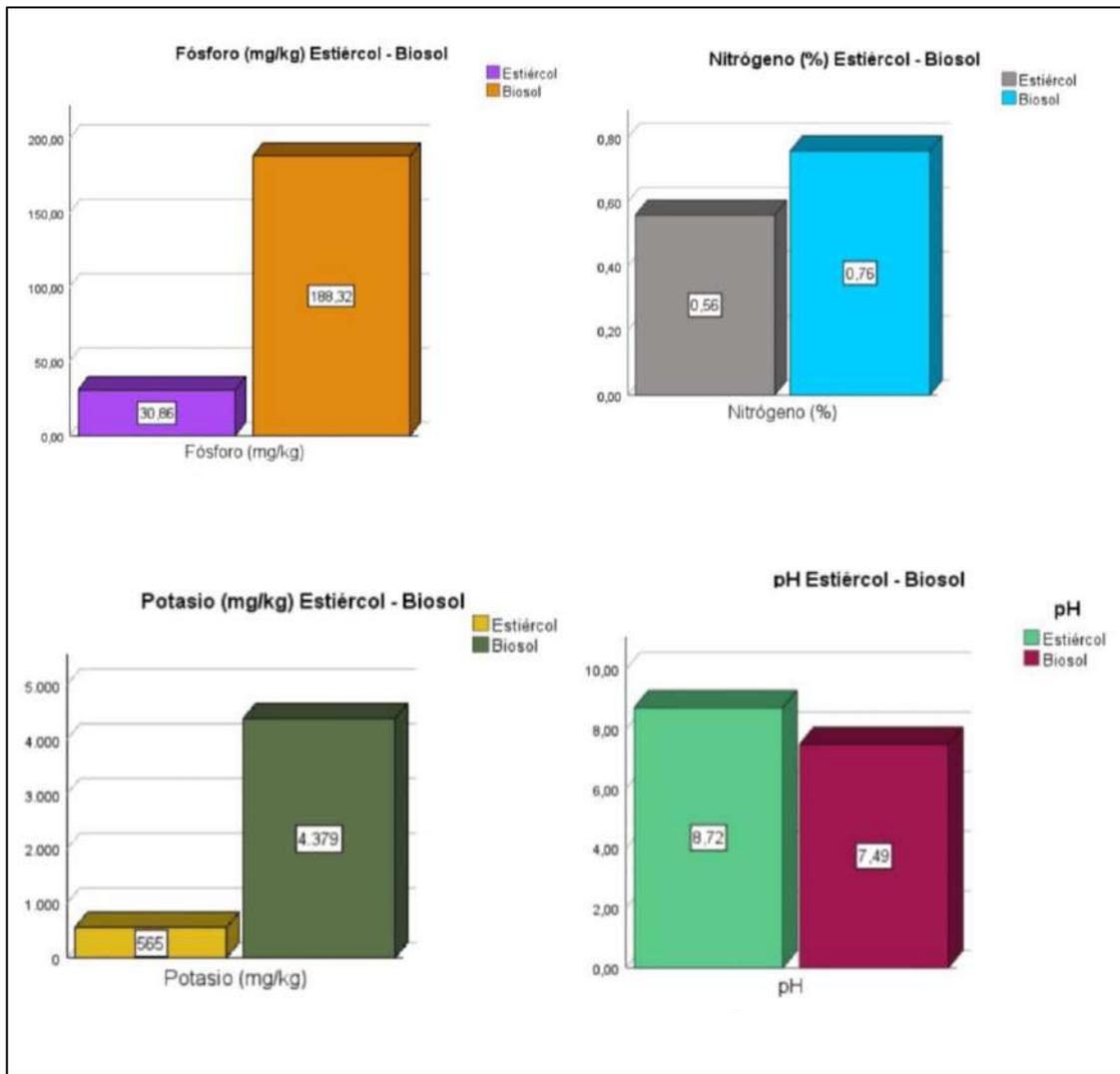


Ilustración 4-3: Comparación nutrientes del estiércol – biosol

Realizado por: Yáñez G., 2023.

4.1.3 Tercera Fase: Eficiencia del biol y biosol

4.1.3.1 Altura final del culantro

En la Tabla 4-6 se aprecia los resultados de la altura final del culantro al pasar por los tratamientos: Testigo (T1); Biol (T2); Biosol (T3) y Biol+Biosol (T4). Se observa un incremento en el promedio de altura en las plantas sometidos a distintos tratamientos. Sin embargo, el cuarto tratamiento (Biol + Biosol) presenta el mayor promedio de altura en las plantas con un valor de 10,187 cm.

Tabla 4-6: Datos de la medición de la altura final del culantro

Muestra	Tratamiento			
	Testigo (T1)	Biol (T2)	Biosol (T3)	Biol+Biosol (T4)
	Altura (cm)	Altura (cm)	Altura (cm)	Altura (cm)
P1	5,4	5,4	7	9,1
P2	6,1	6,7	7,1	10,1
P3	6,4	4,3	8,3	9,9
P4	4,9	7,4	9,8	10
P5	3,5	4,1	10,8	12
P6	5	6,6	12,8	9,7
P7	6,5	5,1	8,6	10,7
P8	5,4	5,4	8	9,5
P9	5,7	8,9	7,5	9,5
P10	6,8	7,7	6,5	9,9
P11	5,6	6,3	10,5	10,7
P12	6,6	6,6	7,9	9,5
P13	5,5	11,3	7,6	10,2
P14	3,8	5,5	6,2	11,6
P15	4	5,1	9,8	10,4
Promedio	5,413	6,427	8,560	10,187

Realizado por: Yáñez G., 2023.

Se propuso una hipótesis nula (H_0) y una alternativa (H_a). La hipótesis nula postula que todas las medias son iguales, mientras que la hipótesis alternativa sugiere que no todas las medias son iguales. En base a los resultados del análisis de varianza (ANOVA) de la Tabla 4-7 con un nivel de confianza del 95%, Señala que existe evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula, debido a que el valor de F es mayor al valor de F-Fisher ($16,23 > 2,76$). Por lo tanto, no todas las medias de los tratamientos son iguales, es decir, que existen diferencias significativas de la influencia de los tratamientos en la altura final del culantro.

Tabla 4-7: Análisis de varianza (ANOVA) de la altura final del culantro

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor F-Fisher
Factor	3	131,2	43,738	16,23	2,76
Error	56	150,9	2,695		
Total	59	282,1			

Realizado por: Yáñez G., 2023.

Los resultados de la Tabla 4-8 en base a la prueba de Tukey demuestran que las medias del tratamiento Testigo (T1) y Biol (T2) son iguales. Así también, las medias entre el tratamiento Biol (T2) y Biosol (T3). Sin embargo, la media del tratamiento Biol+Biosol (T4) es diferente a los demás tratamientos. Por lo tanto, la aplicación de este factor incide significativamente en la altura final del culantro en comparación a los demás tratamientos.

Tabla 4-8: Agrupación de las medias de la prueba de Tukey

Factor	N	Media	Agrupación
Biol+Biosol	15	9,653	A
Biosol	15	7,493	B
Biol	15	6,427	B C
Testigo	15	5,747	C

Realizado por: Yáñez G., 2023.

En la Ilustración 4-4 se apreció un incremento en el crecimiento de la planta en cada uno de los tratamientos, en el testigo con un valor mínimo y máximo de 3,5 cm a 6,8 cm respectivamente. En el segundo tratamiento (Biol) con un valor mínimo de 4,3 cm y máximo de 11,3. Así como en el tercer tratamiento (Biosol) con un valor mínimo de 6,2 cm y máximo de 12,8 cm. Finalmente el cuarto tratamiento (Biol+Biosol) incrementa con valores mínimos y máximos de 9,1 cm y 11,6 cm.

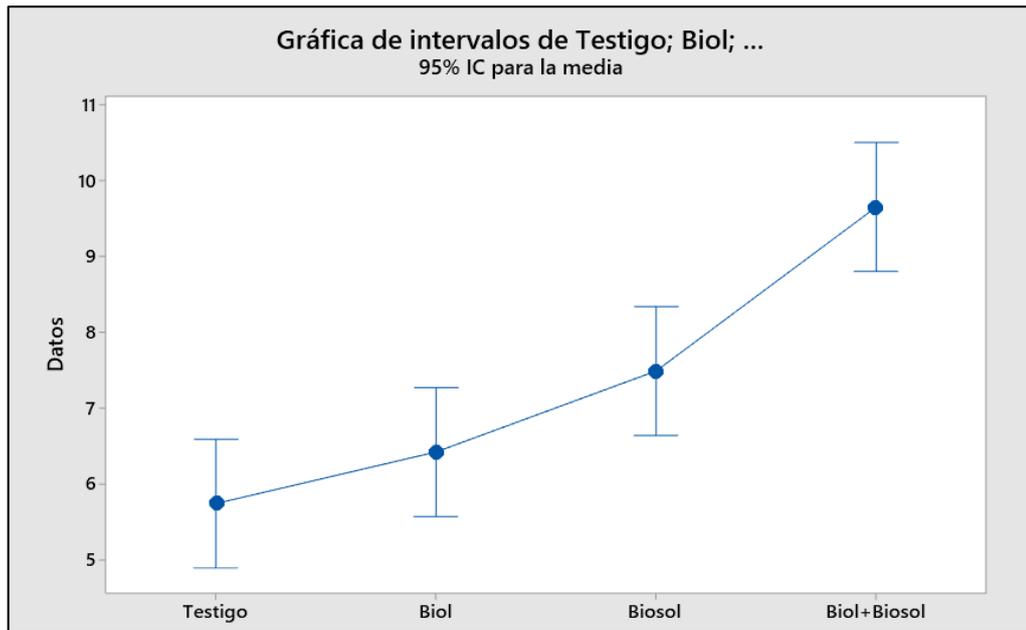


Ilustración 4-4: Intervalos de los tratamientos

Realizado por: Yáñez G., 2023.

4.1.3.2 Longitud de la raíz

En la Tabla 4-9 se presentan los resultados de la longitud de la raíz del culantro al pasar por los tratamientos: Testigo (T1); Biol (T2); Biosol (T3) y Biol+Biosol (T4). Se observó un incremento en el promedio del tratamiento 3 y 4 con valores de T3: 8,005 cm y T4: 8,696 cm en comparación al T1 y T2, sin embargo, los promedios no presentan una distinción pronunciada.

Tabla 4-9: Datos de la medición de la longitud de la raíz del culantro

Muestra	Tratamiento			
	Testigo (T1)	Biol (T2)	Biosol (T3)	Biol+Biosol (T4)
	Longitud raíz (cm)	Longitud raíz (cm)	Longitud raíz (cm)	Longitud raíz (cm)
P1	6,9	7,3	7,4	6,5
P2	7,3	9,5	5,9	8,5
P3	6,4	9,1	9,2	7,4
P4	6,4	8,3	7,7	7,2
P5	5,3	10,0	11,2	9,5
P6	6,4	6,1	8,9	8,2
P7	7,4	5,9	6,4	6,3
P8	7,1	6,9	6,5	8,9
P9	7,8	7,0	9,0	7,7
P10	7,9	7,7	6,1	9,3
P11	9,8	7,2	9,9	8,1
P12	10,8	6,0	8,6	11,0
P13	6,8	10,2	8,3	13,6
P14	9,1	6,8	5,1	8,6
P15	5,6	6,0	9,7	9,5
Promedio	7,407	7,613	8,005	8,696

Realizado por: Yáñez G., 2023.

Se propuso una hipótesis nula (H_0) y una alternativa (H_a). La hipótesis nula postula que todas las medias son iguales, mientras que la hipótesis alternativa sugiere que no todas las medias son iguales. Con base en los resultados del análisis de varianza (ANOVA) de la Tabla 4-10 con un nivel de confianza del 95% existe evidencia estadística suficiente para aceptar la hipótesis nula, debido a que el valor de F es menor al valor de F-Fisher ($1,79 < 2,76$). Por lo tanto, todas las medias de los tratamientos son iguales, es decir, que los tratamientos no influyen en la longitud de la raíz del culantro.

Tabla 4-10: Resultados Análisis de varianza (ANOVA) de la longitud de la raíz

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor F-Fisher
Factor	3	14,50	4,833	1,79	2,76
Error	56	151,33	2,702		
Total	59	165,83			

Realizado por: Yáñez G., 2023.

Al comprobar que las medias de los tratamientos son iguales, no es necesario aplicar la prueba de Tukey para comparar las medias.

4.1.3.3 Nutrientes del suelo

Los resultados de los análisis de suelo para cada tratamiento de la Tabla 4-11 demostró que para el segundo tratamiento (Biol) existe una diferencia de 0,01 % de Nitrógeno y 529,52 kg/ha de Potasio. Sin embargo, se observó una reducción del Fósforo y pH con 18,30 kg/ha y 0,01 respectivamente. El tercer tratamiento (Biosol) reveló una diferencia de 0,16 % de Nitrógeno; 70,68 kg/ha de Fósforo y 0,08 de pH, con una reducción del Potasio de 209,06 kg/ha. En el cuarto tratamiento (Biol+Biosol) se demostró un incremento del Nitrógeno de 0,10 %; 5,60 kg/ha de Fósforo; 595,52 kg/ha de Potasio y con 0,04 de pH.

Tabla 4-11: Requerimientos nutricionales del culantro (*Coriandrum sativum*)

Nutrientes	Referencia del Culantro	Suelo Testigo	Suelo Biol	Suelo Biosol	Suelo Biol+Biosol
Nitrógeno (%)	1,5	0,16	0,17	0,32	0,26
Fósforo (kg/ha)	50	62,72	44,42	133,40	68,32
Potasio (kg/ha)	280	412,00	941,52	2020,94	1007,52
pH	7,0	7,02	7,01	7,10	7,06

Realizado por: Yáñez G., 2023.

En la Ilustración 4-5, la concentración de Nitrógeno presentó un aumento relevante en los tratamientos de Biosol y Biol+Biosol, con una diferencia de 0,06 en comparación con el tratamiento Testigo y Biol. Además, la concentración de Fósforo alcanza un valor de 133,40 kg/ha, superando a los tratamientos Biol y Biol+Biosol. Asimismo, el Potasio registra un valor de 2020,94 kg/ha, también superando a los tratamientos Biol y Biol+Biosol. Por último, el pH alcanza un valor de 7,10, mostrando un aumento en comparación con los demás tratamientos.



Ilustración 4-5: Nutrientes del suelo aplicado los tratamientos

Realizado por: Yáñez G., 2023.

4.1.4 Cuarta Fase: Guía práctica de operación del biodigestor tubular

En esta fase se presenta una propuesta de guía para la operación correcta del biodigestor tubular en un ambiente real, que podrá ser utilizado como referencia para el uso en diferentes escenarios. Está estructurado por siete etapas: en la Etapa I se describen conceptos básicos sobre el biodigestor. En la Etapa II se establece los métodos para la excavación de la zanja. A continuación, en la Etapa III se detalla el proceso de la instalación del biodigestor. Así como en la Etapa IV el procedimiento de carga del biodigestor, en la Etapa V el proceso de extracción del

biol y biosol. Mientras que en la Etapa VI se describe los pasos para el mantenimiento del biodigestor para un nuevo uso. Finalmente, en la Etapa VII se define el uso del biol y biosol.

Etapa I: Conceptos básicos

Digestores o Biodigestores

Los biodigestores consisten en equipos totalmente cerrados donde se lleva a cabo el proceso de digestión anaeróbica para la producción de biogás y bioabonos (Gómez y Ángel, 2020, pág. 38). Es importante que este sellado completamente para favorecer las condiciones anaeróbicas, evitando la producción del amonio (NH_4) y dióxido de carbono (CO_2), el amonio puede interferir en el proceso puesto que es una sustancia tóxica para los microorganismos anaerobios (Ariza et al., 2018, pág. 3).

Biodigestor tubular

El biodigestor tubular se basa en una bolsa o balón plástico completamente sellado, fabricada en material de geomembrana de PVC, impermeable al agua y baja permeabilidad a los gases (WATERSUPPLY EC, 2022, pág. 2). El gas es almacenado en la parte superior, aproximadamente un 25% del volumen total, la bolsa se va inflando lentamente debido a su presión baja, los tubos de entrada y salida están directamente sujetos a la membrana (Bautista, 2010, pág. 34). Su vida útil es de 5 años, las zonas rurales se adaptan con facilidad a estos sistemas por el bajo costo en su instalación y fácil manipulación (Durazno, 2018, pág. 27).

Digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica consiste en un proceso donde los microorganismos descomponen la materia orgánica en ausencia de oxígeno, el resultado de este proceso es la obtención de gases como el metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) (Lorenzo et al., 2005, pág. 36).

Biomasa

La biomasa comprende la materia orgánica generada por animales, microorganismos y plantas (Martínez y Leyva, 2014, pág. 12). Se clasifica en primarias y secundarias de acuerdo a su obtención, la primera se obtiene de forma directa del ecosistema natural para uso energético, mientras que la segunda es el resultado o producto de las actividades antropogénicas, también se la denomina

biomasa residual (Vargas, 2021, pág. 8). A su vez se puede clasificar según la obtención de biomasa por la actividad humana, estas pueden ser agrícola, industrial y forestal (Vázquez, 2014, pág. 98).

Biogás

El biogás consiste en una mezcla gaseosa que se obtiene de la descomposición de la materia orgánica, por medio de un proceso anaeróbico, funciona de manera similar al gas metano de origen fósil (Montenegro, 2020, pág. 14). Sus principales componentes son el metano (CH₄) con un 55 a 65%, el dióxido de carbono (CO₂) de 35 a 45%, nitrógeno (N) de 0 a 3%, hidrógeno (H) de 0 a 1%, oxígeno (O) 0 a 1% y contiene trazas de sulfuro de hidrógeno (H₂S) generados por los microorganismos (Bautista, 2010, págs. 24-25). Puede ser aplicado en procesos de cocción de alimentos, generación de electricidad y combustible para vehículos (Torres et al., 2019, pág. 10).

Bioabonos

Al finalizar el proceso anaeróbico se obtienen fertilizantes de alta calidad denominados bioabonos o fangos, estos se dividen en dos según el contenido, una fracción líquida denominado Biol y una fracción sólida conocido como Biosol (Gutiérrez, 2020, pág. 8). Estas fracciones contienen macronutrientes como Nitrógeno (N) de 2 al 3%, Fósforo (P) de 1 a 2%, Potasio (K) de 1% y la materia orgánica con 85%, sin embargo, el nitrógeno se encontrara en concentraciones altas (Cabos et al., 2019, pág. 3).

Biol

El biol o también denominado fertilizante foliar líquido permite aumentar la cantidad de raíces en las plantas, mejora su capacidad fotosintética, incrementando la producción y calidad de los cultivos (Gutiérrez, 2020, pág. 13). De la materia orgánica que ingresa al biodigestor un 90% se transforma en biol (Aparcana y Jansen, 2008, pág. 3).

Biosol

El biosol contiene la mayor parte de los nutrientes que permite el crecimiento y desarrollo adecuado de las plantas (Cabos et al., 2019, pág. 3). Se aplica de forma directa una vez culminado el proceso anaeróbico o puede pasar por un proceso de secado al ambiente, serán recolectadas en fundas plásticas para usos posteriores (Torres et al., 2019, pág. 4).

Parámetros clave en la digestión anaeróbica

Existen parámetros principales que influyen en el proceso de digestión anaeróbica, se deben controlar y mantener dentro de su rango óptimo para una producción efectiva de biogás y bioabonos (Chiriboga, 2010, pág. 19).

Tiempo de retención hidráulica (TRH)

El tiempo de retención hidráulica comprende el tiempo de duración del proceso anaeróbico, es decir, la temperatura de la región influye en el tiempo en el que los microorganismos degradan la biomasa, en sitios con bajas temperaturas se necesita un mayor tiempo de retención (Pelegrín, 2021, págs. 18-19). Existe un valor o rango óptimo que debe cumplir, al sobrepasar el TRH provoca una disminución en la velocidad de producción de biogás por unidad de volumen, (FAO, 2020, pág. 10). Para la degradación del estiércol del ganado vacuno que opera bajo un rango mesofílico varían entre 20 a 45 días (WATERSUPPLY EC, 2022, pág. 4).

pH

El pH representa el grado de acidez en el biodigestor, se debe llevar un control ya que puede intervenir en la velocidad de reacción (Rivas et al., 2011). Si el pH aumenta en exceso se puede dar la formación de amoníaco, si esta baja puede aumentar la producción de ácido acético no ionizado, por lo que resulta perjudicial para el proceso de digestión (Bautista, 2010, págs. 22-23). Los rangos óptimos de acuerdo a las bacterias son: fermentativos entre 7,2 y 7,4; acetogénicos entre 7,0 y 7,2; metanogénicos entre 6,5 y 7,5 (Pelegrín, 2021, pág. 21).

Temperatura

El proceso de digestión anaeróbica depende de la temperatura, ya que variaciones en este parámetro puede producir la disminución del crecimiento de bacterias dentro del biodigestor (Pelegrín, 2021, pág. 19). Existe un rango óptimo dependiendo de las bacterias, para las psicrófilas comprende rangos por debajo de los 20°C; mesófilas de 20°C a 40°C y las termófilas está por encima de los 40°C (WATERSUPPLY EC, 2022, pág. 4).

Elementos del biodigestor tubular

La gran mayoría de los biodigestores tubulares están equipados con los siguientes elementos:

1. Geomembrana flexible.
2. GeoTextil protector.
3. Conexión tubo de PVC en Y del tanque de recepción.
4. Tanque de recepción con salida inferior (carga de la biomasa).
5. Tanque de recolección del efluente (biol).
6. Trampa de agua.
7. Filtro purificador del Gas ácido sulfhídrico H_2S .
8. Acople salida biogás en la parte superior de la geomembrana.
9. Válvula de seguridad.

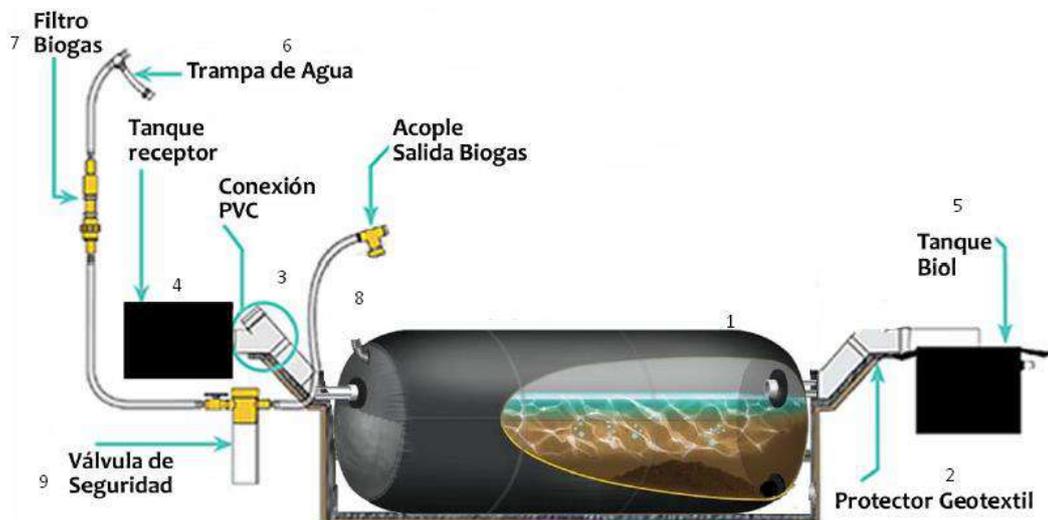


Ilustración 4-6: Elementos del biodigestor tubular

Fuente: WATERSUPPLY EC, 2022

Etapa II: Excavación de la zanja

1. Las herramientas que se van a utilizar en la excavación de la zanja se describen en la siguiente Tabla 4-12.

Tabla 4-12: Herramientas - excavación de la zanja

N°	Herramientas
1	Palas manuales
2	Machetes
3	Azadones
4	Cava hoyos
5	Caretilla
6	Piola

Realizado por: Yánez G., 2023.

2. Delimitar el área por dos rectángulos. En la fase inicial, realizar una excavación de 40 cm de profundidad en toda la extensión del rectángulo, con dimensiones de 1,50 m de ancho por 7 m de largo.

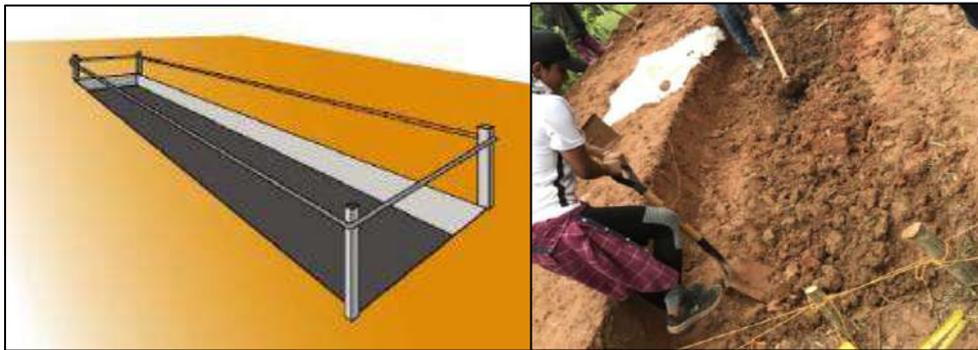


Ilustración 4-7: Delimitación del área, primer rectángulo (1,50m x 7 m)

Fuente: WATERSUPPLY EC, 2022

Realizado por: Yánez G., 2023.

3. Para el segundo rectángulo, con dimensiones de 80 cm de ancho por 7 m de largo, excavar una profundidad de 50 cm.

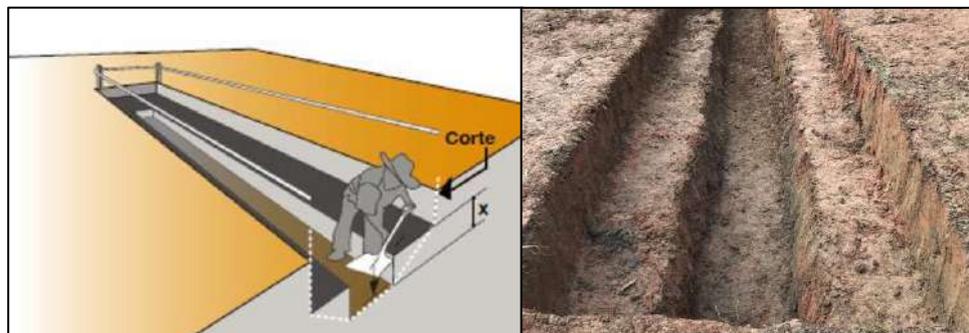


Ilustración 4-8: Delimitación del área, segundo rectángulo (80 cm x 7 m)

Fuente: WATERSUPPLY EC, 2022

Realizado por: Yánez G., 2023.

4. Para concluir, efectuar un chaflán diagonal en ambos lados.

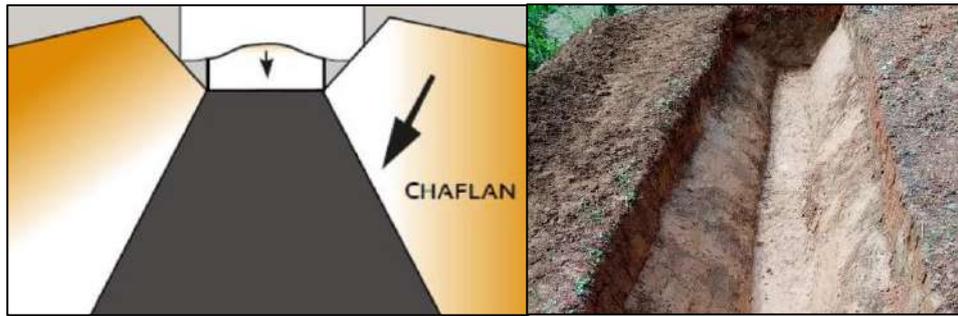


Ilustración 4-9: Ejecución del chaflán

Fuente: WATERSUPPLY EC, 2022

Realizado por: Yáñez G., 2023.

5. Para instalar el tanque de recepción, realizar una excavación de 20 cm de ancho, 50 cm de largo y 15 cm de profundidad para brindar soporte al tubo de PVC 4". Cavar un agujero de 25 cm de profundidad y 70 cm de diámetro para colocar el tanque.



Ilustración 4-10: Excavación tanque de recepción

Fuente: WATERSUPPLY EC, 2022

Realizado por: Yáñez G., 2023.

Etapa III: Instalación del biodigestor tubular

1. Los equipos a utilizar en la instalación del biodigestor se describen en la siguiente Tabla 4-13.

Tabla 4-13: Equipos - Instalación del biodigestor

N°	Equipos
1	Biodigestor tubular
2	Tanque de recepción (salida inferior)
3	Tanque de recolección (salida superior)
4	Conexión PVC en Y de ingreso
5	Conexión PVC de salida
6	Geotextil protector
7	Pegamento de tubo de PVC

Realizado por: Yánez G., 2023.

2. Cubrir el área con geotextil para la protección del biodigestor y extender la geomembrana a lo largo de la zanja.



Ilustración 4-11: Colocación del geotextil y geomembrana

Realizado por: Yánez G., 2023.

3. Conectar los tubos de PVC con los tanques de recepción y recolección. El tanque de recepción con salida en la parte inferior se debe colocar en el agujero de 70 cm de diámetro.



Ilustración 4-12: Conexión de tubos de PVC

Realizado por: Yáñez G., 2023.

4. El tanque de recolección con salida en la parte superior debe ser ubicado dentro de la zanja, realizar las conexiones con el tubo de PVC. Para evitar fugas utilizar pegamento de PVC en cada conexión.



Ilustración 4-13: Ubicación tanque de salida del biol

Realizado por: Yáñez G., 2023.

Conexión para medir el biogás

1. El material a utilizar en la conexión para medir el biogás se describe en la siguiente Tabla 4-14.

Tabla 4-14: Materiales - conexión salida biogás-manguera

N°	Materiales
1	Conexión universal
2	Bushin 3/4 con reducción a 1/2
3	2 Unión de 1/2
4	Codo de 1/2
5	Llave de 1/2
6	Dos abrazaderas
7	Teflón
8	Llave de pico

Realizado por: Yáñez G., 2023

2. En la parte superior del biodigestor se encuentra una conexión universal para la salida del biogás. Esta conexión universal conectarla a un bushin 3/4 con reducción a 1/2 junto a una unión y a un codo que finaliza con una llave de la misma medida.
3. Posterior conectar a una unión de 1/2 con salida para la manguera, ajustado con una abrazadera.



Ilustración 4-14: Conexión salida de biogás

Realizado por: Yáñez G., 2023

Etapa IV: Carga del biodigestor tubular

El biodigestor debe ser cargado con estiércol de ganado bovino disuelto en agua en una proporción de 1:3. Corresponde una parte de estiércol de bovino fresco disuelto en tres partes de agua. El sistema utilizado es de flujo discontinuo ya que la carga se realiza de manera completa al inicio y

la descarga una vez transcurrido los 45 días de haber iniciado el proceso de digestión. Se requiere 2000 kg de estiércol fresco y 6000 litros de agua para completar el biodigestor en un 70%.

1. Los materiales a utilizar en la carga del biodigestor tubular se describen en la siguiente Tabla 4-15.

Tabla 4-15: Materiales - carga del biodigestor

N°	Materiales
1	Palas manuales
2	Tanque de 200 L
3	2 baldes de 20 L
4	Plástico
5	Estiércol
6	Agua

Realizado por: Yáñez G., 2023

2. Es preferible recolectar el estiércol lo más fresco posible. Si se tiene tanto estiércol fresco como seco. Se recomienda mezclar ambos hasta obtener una homogeneidad en la composición. Reducir los fragmentos de gran tamaño a pequeños trozos con el objetivo de evitar la formación de grumos durante la mezcla de estiércol: agua.



Ilustración 4-15: Mezcla del estiércol

Realizado por: Yáñez G., 2023

3. Se recomienda emplear un tanque para la mezcla con relación 1:3 (estiércol: agua). Posterior se debe homogenizar la mezcla para evitar la acumulación de grumos en la disolución.



Ilustración 4-16: Mezcla estiércol: agua en una proporción 1:3

Realizado por: Yáñez G., 2023

4. Preparado la disolución iniciar el proceso de carga del biodigestor por el tanque de recepción. Este método debe ser repetido hasta llenar el biodigestor un 70%.



Ilustración 4-17: Carga del biodigestor

Realizado por: Yáñez G., 2023

Monitoreo y control de variables

1. Los materiales empleados en el monitoreo y control de las variables se describen en la siguiente Tabla 4-16.

Tabla 4-16: Materiales - monitoreo y control de variables

N°	Materiales
1	Recipientes de polipropileno (PP)
2	Guantes
3	Cooler
4	Manguera
5	Hoja de registro
6	Esfero
7	Higrómetro

Realizado por: Yánez G., 2023

2. La muestra debe ser extraído por el tanque de recepción por medio del Tubo de PVC en Y. Para ello utilizar una manguera y un recipiente de plástico de polipropileno. El recipiente debe ser enjuagado en tres ocasiones para asegurar la representatividad de la muestra.



Ilustración 4-18: Extracción de la muestra estiércol: agua

Realizado por: Yánez G., 2023

3. Emplear un higrómetro para medir la temperatura de la muestra y verificar que se encuentre dentro del rango óptimo para el desarrollo de los microorganismos (25 – 40 °C).



Ilustración 4-19: Medición de la temperatura de la mezcla estiércol: agua

Realizado por: Yáñez G., 2023

4. La muestra debe ser etiquetada en base a la NTE INEN 2176 (2013, pág. 10), donde se establecen parámetros básicos de rotulado como la localización del sitio de muestreo, fecha, hora, nombre del recolector, coordenadas, condiciones atmosféricas, etc. Por último, depositar la muestra en un cooler y trasladar al laboratorio para realizar el análisis del pH.

Ensayo de probeta

1. Los materiales empleados en el ensayo de probeta se describen en la siguiente Tabla 4-17.

Tabla 4-17: Materiales - ensayo de probeta

N°	Materiales
1	Probeta de 1000 ml
2	Jarra de plástico
3	Biodigestor
4	Manguera
5	Manguera (salida de gas)
6	Agua

Realizado por: Yáñez G., 2023

2. El ensayo de probeta sirve para cuantificar el biogás. Para llevar a cabo esta medición, cerrar la válvula de la primera conexión con el objetivo de interrumpir la liberación continua de gas. Luego, tomar un extremo de la manguera y se debe insertar en la probeta.



Ilustración 4-20: Ingreso de la manguera en la probeta (1000 ml)

Realizado por: Yánez G., 2023

3. De forma invertida, sumergir la probeta llena de agua en una jarra de plástico. Acto seguido, abrir la válvula, observando la presencia de biogás mediante la disminución del nivel de agua en la probeta, y registrar la medida correspondiente al punto de descenso.



Ilustración 4-21: Medición del biogás

Realizado por: Yánez G., 2023

4. Para determinar la cantidad de biogás generado, realizar una diferencia entre el volumen de agua inicial y el volumen de agua desplazado (Tabla 4-18). Estos valores variaran dependiendo la cantidad de biomasa empleado y la temperatura de la zona.

Tabla 4-18: Valores de referencia del volumen diario de CH₄

Tiempo de Retención	Hora	Biogás		
		Valor Inicial (ml)	Valor Final (ml)	Volumen diario CH ₄ (ml)
35	15h30	340	720	380
36	15H00	350	750	400

Realizado por: Yáñez G., 2023

Ensayo de flama

1. Los materiales empleados en el ensayo de probeta se describen en la Tabla 4-19.

Tabla 4-19: Materiales - ensayo de flama

Nº	Materiales
1	Biodigestor
2	Manguera (salida de gas)
3	Fósforo o encendedor

Realizado por: Yáñez G., 2023

2. Para verificar la presencia de gas, se llevó a cabo el ensayo de la flama. En este proceso, se debe abrir la válvula de gas y se posiciona la manguera cerca de un fósforo o encendedor.



Ilustración 4-22: Comprobación de la flama del gas

Realizado por: Yáñez G., 2023

3. La formación de la llama afirma la existencia de gas en el biodigestor, y su extensión varía según la cantidad de gas producido.



Ilustración 4-23: Formación de la llama en el día y noche

Realizado por: Yáñez G., 2023

Etapa V: Extracción del biol y biosol del biodigestor tubular

1. Los materiales empleados extracción del biol y biosol se describen en la siguiente Tabla 4-20.

Tabla 4-20: Materiales - Extracción del biol y biosol

Nº	Materiales
1	Biodigestor
2	Palas
3	2 Tanques de 200 L
4	Tanque de 500 L
5	Baldes de 20 L
6	5 Canecas y 19 Botellas plásticas
7	Jarra de plástico
8	Zaranda
9	Mortero de madera
10	Sacos de polipropileno (PP)
11	Fundas herméticas Zip-zap

Realizado por: Yáñez G., 2023

- Al completar los 45 días del proceso digestivo, iniciar el proceso de descarga del digestor. El biol debe ser extraído del tanque de recepción, dado que en esa área se concentra mayor cantidad de efluente. Para facilitar la descarga, desconectar el tubo de entrada de las demás conexiones.



Ilustración 4-24: Desconectar el tubo PVC de la entrada

Realizado por: Yáñez G., 2023

- Con un balde de 20 litros, extraer el biol y almacenarlo en tanques de 200 y 500 litros, así como en canecas y botellas plásticas.



Ilustración 4-25: Extracción del biol del biodigestor

Realizado por: Yáñez G., 2023

- El biosol debe pasar por un proceso de filtración utilizando una zaranda de dimensiones 1 m x 1m y una porosidad de 1,5 mm. La fracción líquida resultante transferir a tanques de 200 litros, mientras que la porción sólida debe ser extendida sobre un plástico para llevar a cabo el proceso de secado a temperatura ambiente.



Ilustración 4-26: Extracción del biosol del biodigestor

Realizado por: Yáñez G., 2023

5. Posterior, triturar con ayuda de un mortero de madera. Finalmente, el producto puede ser envasado en sacos de prolipropileno 60 cm x 90 cm y en fundas herméticas c/cierre Zip zap 16,5×14,9cm.



Ilustración 4-27: Producto final biol y biosol

Realizado por: Yáñez G., 2023

Etapa VI: Mantenimiento del biodigestor

1. Los materiales empleados en el mantenimiento del biodigestor se describen en la siguiente Tabla 4-21.

Tabla 4-21: Materiales - Mantenimiento del biodigestor

N°	Materiales
1	Sellador Sikaflex
2	Amarras plásticas negras (Tairas)
3	Parches para tubo de neumático
4	Pegamento para tubo de neumático
5	Biodigestor tubular
6	Tanque de recepción (salida inferior)
7	Tanque de recolección (salida superior)
8	Conexión PVC en Y de ingreso
9	Conexión PVC de salida
10	Bomba de agua
11	Compresor

Realizado por: Yánez G., 2023

2. En la limpieza interna y externa del biodigestor emplear una bomba de agua. Para la desinfección interna realizar una abertura de uno de los extremos, desprendiendo la geomembrana del tubo. Posterior sellar con pegamento (Sikaflex) y tairas de 15 cm de largo.



Ilustración 4-28: Desprendimiento de la geomembrana del tubo PVC

Realizado por: Yánez G., 2023

3. Verificar el hermetismo del biodigestor, para ello cubrir el tubo de ingreso del biodigestor con un pedazo de tubo de neumático.



Ilustración 4-29: Prueba de hermetismo del biodigestor

Realizado por: Yánez G., 2023

4. En caso de que se identifiquen agujeros en la geomembrana, sellarlos con ayuda de pegamento y parches (5x5 cm) para tubo de neumático.



Ilustración 4-30: Reparación de agujeros de la geomembrana

Realizado por: Yánez G., 2023

5. Mantener el biodigestor lleno de aire durante 6 horas para verificar que no exista fugas. Lavar los tanques y las conexiones de PVC con la finalidad de evitar la presencia de sustancias extrañas que alteren el proceso de digestión anaeróbica.



Ilustración 4-31: Verificación del hermetismo de la geomembrana

Realizado por: Yáñez G., 2023

6. Almacenar el biodigestor bajo sombra, en un área limpia y libre de humedad para garantizar su durabilidad y buen funcionamiento en futuras prácticas.

Etapa VII: Uso del biol y biosol en cultivos

La aplicación de estos abonos mejora las características físicas y químicas del suelo (Barrena et al., 2019, pág. 3). Los principales macronutrientes presentes en los efluentes biol y biosol son el Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K), elementos fundamentales para el proceso de fotosíntesis, promueve el crecimiento de las plantas y mejora la calidad de los frutos (Cabos et al., 2019, pág. 3).

Preparación de las parcelas y trasplante del culantro

1. Las herramientas utilizadas en la preparación de las parcelas se describen en la siguiente Tabla 4-22.

Tabla 4-22: Herramientas - Preparación parcelas y trasplante

N°	Herramientas
1	Azadón
2	Palas manuales
3	Machete
4	Piola
5	Flexómetro

Realizado por: Yáñez G., 2023

2. Acondicionar cuatro parcelas de 1 metro de ancho por 3 metros de largo con una altura de 15 cm. Previo a esto, se lleva a cabo una exhaustiva limpieza del área, definiendo las parcelas mediante estacas y piola, con un espacio de 50 cm entre cada una para facilitar el acceso.
3. Remover el suelo con el objetivo de descompactar la tierra y mejorar sus condiciones.
4. Colocar cascarilla de arroz, ya que esta contribuye a la retención del agua y mejora la calidad de los nutrientes en el suelo. Humedecer el suelo antes del trasplante.



Ilustración 4-32: Preparación de las cuatro parcelas

Realizado por: Yáñez G., 2023

5. Ver el apartado de análisis de suelo inicial y final para caracterizar el suelo antes de realizar el trasplante del culantro.
6. Crear surcos horizontales en cada parcela con una separación de 40 cm, conteniendo aproximadamente 5 surcos por lote. La distancia entre cada planta de culantro se mantuvo en 10 cm.
7. Disponer en cada parcela 15 plantas, la altura de estas se debe encontrar entre 3 cm y 4 cm.



Ilustración 4-33: Trasplante de plántulas de culantro

Realizado por: Yáñez G., 2023

Tratamientos

Emplear cuatro tratamientos con una proporción de 1:1, con la finalidad de estudiar el rendimiento de los bioabonos durante el ciclo de crecimiento vegetal (Tabla 4-23).

Tabla 4-23: Tratamientos: Testigo, Biol, Biosol y Biosol+Biol

Tratamiento	Proporción
Testigo	No se aplicó abonos 0:0
Biol	4 L de biol diluido con 4 L de agua 1:1
Biosol	4 L de biosol diluido con 4 L de agua 1:1
Biol+Biosol	2 L de Biol + 2 L de Biosol diluido con 4 L de agua 1:1

Realizado por: Yáñez G., 2023

Aplicación del biol y biosol

1. Los materiales empleados en la aplicación del biol y biosol se describen en la siguiente Tabla 4-24.

Tabla 4-24: Materiales - aplicación del biol y biosol

N°	Materiales
1	Balde 20L
2	Recipiente de plástico
3	Biol
4	Biosol
5	Agua

Realizado por: Yáñez G., 2023

2. Aplicar los bioabonos semanalmente a lo largo de cinco semanas, considerando el período de desarrollo de la planta hasta el día de la cosecha. Diluir el biol y aplicar en el suelo y en el follaje como abono foliar, es decir, directamente sobre las hojas.

3. El biosol diluido y la combinación de biol + biosol, aplicar mediante riego directo al suelo, utilizando un recipiente de plástico.



Ilustración 4-34: Preparación y aplicación del biol y biosol

Realizado por: Yáñez G., 2023

Variables analizadas

Las variables que se analizarán en el efecto de los diferentes tratamientos sobre el desarrollo del culantro será: la altura final de la planta final (cm) y la longitud de la raíz (cm).

1. Los materiales empleados en la medición de las variables analizadas se describen en la siguiente Tabla 4-25.

Tabla 4-25: Materiales - Medición de las variables

N°	Materiales
1	Calibrador o pie de rey
2	Guantes
3	Bandeja
4	Hoja de registro

Realizado por: Yáñez G., 2023

2. Medir la altura final de la planta antes de realizar la cosecha de las 15 plántulas con un calibrador.



Ilustración 4-35: Medición de la altura final del culantro

Realizado por: Yáñez G., 2023

3. Recolectar las muestras en horario matutino y almacenar en una bandeja bajo sombra para evitar el estrés post cosecha.



Ilustración 4-36: Recolección del culantro

Realizado por: Yáñez G., 2023

4. Previo a la medición de la longitud, las raíces deben ser desinfectadas con la finalidad de obtener datos precisos. Repetir el proceso 3 y 4 para los cuatro tratamientos.



Ilustración 4-37: Medición de la longitud de la raíz del culantro

Realizado por: Yáñez G., 2023

Análisis del suelo inicial y final

1. Los materiales empleados en el análisis del suelo final se describen en la siguiente Tabla 4-26.

Tabla 4-26: Materiales - Análisis del suelo

N°	Materiales
1	Bandeja
2	Pala manual
3	Fundas herméticas c/cierre Zip zap
4	Guantes

2. Para la caracterización del suelo con los distintos tratamientos, seleccionar aleatoriamente unas dos proporciones de la parcela. El método empleado consiste en cavar en forma de "V" hasta una profundidad de 30 cm, extrayendo aproximadamente entre 200 y 300 g de suelo.
3. Colocar las muestras en una bandeja limpia, asegurando una mezcla homogénea que representara adecuadamente las condiciones del suelo.

4. A través de un cuarteo, excluyendo los cuadrantes opuestos, se obtuvo una muestra de 500 g de suelo, depositado en fundas herméticas c/cierre Zip zap 16,5×14,9cm. Este proceso se repitió para las dos parcelas restantes.



Ilustración 4-38: Homogenización y cuarteo de la muestra

Realizado por: Yáñez G., 2023

5. Las muestras deben ser etiquetadas en base a la guía de Agrocalidad (2018, pág. 7), donde se establecen parámetros básicos de rotulado como la localización del sitio de muestreo, fecha, hora, responsable de la toma de muestra, tipo de fertilización, etc. Finalmente deben ser trasladadas al laboratorio para llevar a cabo los análisis de pH, Nitrógeno, Fósforo y Potasio.



Ilustración 4-39: Almacenamiento y etiquetado de la muestra de suelo

Realizado por: Yáñez G., 2023

6. Para la caracterización del suelo inicial repetir el mismo procedimiento, sin embargo, se debe seleccionar aleatoriamente una porción de cada una de las cuatro parcelas.

4.2 Discusión de los resultados

El biodigestor tubular se mantuvo en funcionamiento durante 45 días siguiendo las recomendaciones de Green Empowerment (2019, pág. 13), que sugiere un tiempo de retención de entre 25 y 50 días para climas con temperatura entre 25°C a 35 °C. Sin embargo, a los nueve días de iniciar el proceso digestivo, se observaron valores de pH de 6,5 debido a una ruptura en la geomembrana. Este fenómeno, según Cámara y Laines (2014, pág. 23), se atribuye a la acidificación causada por la presencia de oxígeno dentro del biodigestor, ya que los microorganismos requieren condiciones estrictamente anaeróbicas para su desarrollo adecuado.

Mediante el análisis de correlación de Pearson, el pH presentó una correlación baja y además negativa en relación a la T° ambiente y la T° de la biomasa con valores de -0,319 y -0,33 respectivamente. Estos resultados sugieren que un aumento en la temperatura conlleva a una disminución en el pH. Según Morales et al. (2018, pág. 7) la disminución en el pH se atribuye a una mayor liberación de ácidos orgánicos por la actividad metabólica de los microorganismos. Estos ácidos son compuestos que liberan grandes cantidades de iones de hidrógeno, aumentando su concentración, por consiguiente, una reducción del pH.

Sin embargo, durante el proceso anaeróbico el pH se mantuvo neutro ya que la temperatura de la biomasa se mantuvo en un rango de 27,7 °C y 36°C, permitiendo el desarrollo óptimo de los microorganismos. Según Pelegrín (2021, pág. 21), las variaciones en el pH ocasionan una reducción en el crecimiento bacteriano dentro del biodigestor. Noxolo et al. (2014, pág. 2) mencionan que para cada etapa del proceso anaeróbico los microorganismos tienen su rango óptimo de pH. Para la hidrólisis y acidogénesis de 6,5 y 5,5 respectivamente; el pH óptimo de metanogénicas de 6,5 y 8. Aunque, el proceso anaeróbico se lleva a cabo en pH neutros.

La producción de biogás tuvo un aumento notable y se relaciona con el tiempo de retención, especialmente debido al hermetismo mantenido durante los primeros 35 días. Los resultados demuestran una diferencia de producción de 20 ml diarios. Cuyo valor mínimo y máximo fueron de 380 y 560 ml de producción de biogás respectivamente. Estos resultados ratifican la neutralidad del pH, propiciando un ambiente adecuado para la proliferación microbiana. Por consiguiente, una producción considerable de metano como lo menciona Cámara y Laines (2014, pág. 23).

La presencia de gas se confirmó mediante la observación de una llama de color amarillenta con una longitud de 6 cm. En una prueba nocturna esta se amplió a 8 y 10 cm con una tonalidad

azulada, lo que sugiere el uso normal del biogás según Varnero (2011, pág. 112). Por el contrario, la ausencia de una llama después de 30 días desde el inicio del proceso digestivo, se asocia a un posible proceso de acidificación excesiva, caracterizada por un pH inferior a 6 en la biomasa. La inexistencia de la llama puede atribuirse a la producción de CO₂ en lugar de CH₄, según la investigación de Martí (2019, pág. 100).

Los análisis de las propiedades del estiércol revelan cambios notables en las concentraciones de Fósforo y Potasio, tal como lo demuestra un estudio realizado por Cabos et al. (2019, pág. 3). Inicialmente, el estiércol presentaba concentraciones de 30,86 mg/kg de Fósforo y 564,728 mg/kg de Potasio. Al pasar por un proceso de digestión anaeróbica la concentración de los nutrientes aumentó a 188,31 mg/kg de Fósforo y a 4379 mg/kg de Potasio. Según Parra (2015, págs. 3-4), estos nutrientes se vuelven más disponibles y concentrados debido a la descomposición de la materia orgánica y la reducción de los compuestos volátiles. Los resultados del Nitrógeno revelan un cambio insignificante. Según Ortiz (2020, pág. 13), controlar el número de volteos durante la digestión es crucial para incrementar el contenido de Nitrógeno en el producto final. Sin embargo, el uso de un biodigestor tubular dificulta este proceso, lo que implica un aumento mínimo del Nitrógeno, puesto que su valor presentó una diferencia de 0,2%. Bugiolacchio (2020, pág. 14), menciona que se puede obtener concentraciones de nitrógeno de hasta el 2% y 3% en condiciones adecuadas.

Los análisis estadísticos demuestran que el tratamiento que incide significativamente en la altura final del culantro fue el tratamiento Biol+Biosol (T4), obteniendo una altura promedio de 10,187 cm. Gilbert et al. (2020, pág. 16), menciona que en estos bioabonos los nutrientes de Nitrógeno, Fósforo y Potasio están presentes en forma de mineral, volviéndose fácilmente disponible para la absorción de los cultivos. Según Aparcana y Jansen (2008, págs. 5-7), el biol estimula el desarrollo de la planta, mientras que el biosol reduce el crecimiento de bacterias y hongos que son perjudiciales.

En cuanto al efecto en la longitud de la raíz no existen cambios significativos entre tratamientos, obteniendo promedios de T1: 7,407 cm; T2: 7,613 cm; T3: 8,005 cm y en el T4: 8,696 cm. Debido a la dosis aplicada no se puede comparar con otros autores puesto que no existe estudios con la relación de 1:1 para este tipo de cultivos. En una investigación realizada por Orjuela (2018, pág. 60), los tratamientos con abonos orgánicos no tienen influencia en la longitud de la raíz, ya que el promedio no tuvo una variación pronunciada. Sin embargo, tienen influencia sobre la altura final del culantro. Gutiérrez (2020, pág. 8), menciona que el culantro puede llegar a obtener un promedio en la longitud de la raíz de 10 a 15 cm y una altura de 20 a 60 cm en condiciones óptimas. La

temperatura influye en el ciclo de vida del culantro, estos suelen desarrollarse en temperatura de 20°C a 27°C como lo indica Balanta (2017, pág. 16).

El contenido de Fósforo y Potasio de los bioabonos supera los requerimientos nutricionales para el culantro, impidiendo la absorción de otros nutrientes. El fósforo impide el aprovechamiento de micronutrientes como el zinc (zn), el hierro (Fe) y el cobre (Cu), mientras que el potasio puede reducir la absorción de magnesio (Mg) y calcio (Ca). Se observó una baja concentración de Nitrógeno en la aplicación de los tratamientos (T2, T3 y T4), atribuido a su bajo nivel en los valores del bioano (0,76 %). Por lo tanto, este nutriente no tiene una mayor incidencia en los tratamientos. Sin embargo, los bioabonos han aportado un aumento de los demás nutrientes en el suelo como lo menciona Gilbert et al. (2020, pág. 3). El uso de los bioabonos permite la disminución de olores insoportables en comparación a la aplicación directa del estiércol. Según Bugiolacchio (2020, pág. 20), durante los procesos anaeróbicos se elimina una mayor cantidad de parásitos perjudiciales para la salud de seres humanos, plantas y animales.

Con base en estos resultados y estudios previos que han demostrado la efectividad de los biodigestores para reducir las emisiones de gases. Se evidencian los beneficios generados para el ambiente y la agricultura a partir del aprovechamiento de residuos como materia prima. Así también Mercuriali et al. (2022, pág. 3) encontraron que la implementación de biodigestores en la ganadería europea podría reducir las emisiones de metano en un 40%. De la misma manera Molina et al. (2016) y Singh et al. (2016, pág. 225) mencionan que el bioabono obtenido a partir de la digestión anaeróbica de residuos orgánicos, incluyendo el estiércol, aporta nutrientes esenciales para el crecimiento óptimo de las plantas, contribuyendo a una agricultura más sostenible. Sin embargo, la adopción a gran escala de esta tecnología aún enfrenta desafíos, como la necesidad de capacitación y asistencia técnica para los productores, el acceso a financiamiento y la investigación para optimizar los procesos de biodigestión.

La guía práctica para la operación del biodigestor tubular, basada en la parte experimental realizada en campo, proporciona al usuario directrices claras sobre el mantenimiento, la instalación y carga de la biomasa. Se lleva a cabo el procedimiento del monitoreo de variables clave durante el proceso digestivo como el pH, temperatura y tiempo de retención. A su vez se establecen pruebas para verificar la eficacia de la producción del metano. Estos aspectos cruciales, establecidos por Green Empowerment (2019, págs. 29-43) permiten la operación óptima de los biodigestores. Generando productos eficientes y de alta calidad con un contenido nutricional

adecuado para el desarrollo óptimo de las plantas y la mejora de los nutrientes en los suelos. También se genera una alternativa al uso de combustibles fósiles mediante el biogás.

La siguiente investigación proporciona información relevante sobre el mantenimiento y la operación del biodigestor tubular, centrándose en el control de parámetros fundamentales para optimizar la actividad microbiana responsable de la producción de metano. Además, se llevó a cabo una evaluación de la eficacia del biol y el biosol para determinar su impacto en el crecimiento de plántulas de culantro. Sin embargo, es posible utilizar diferentes sustratos y cultivos con el fin de obtener un análisis más exhaustivo de los resultados.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Los biodigestores tubulares demandan una gran cantidad de operarios, por sus dimensiones de 1,50 m de ancho por 7 m de largo, siendo susceptible a daños durante su manipulación. Además, las conexiones deben ser aseguradas meticulosamente para garantizar las condiciones óptimas de digestión anaeróbica, esencial para la proliferación microbiana y la consiguiente producción de metano. La operación eficiente y la ubicación del biodigestor son determinantes en la generación de los productos finales, pues deben cumplir con parámetros específicos para un proceso de descomposición eficiente de la biomasa utilizada.

La temperatura ambiente se mantuvo en el rango óptimo de 26,2 °C a 38,7 °C durante la fase experimental en el Centro de Investigación e Interpretación Biótica "La Belleza". Este parámetro evitó cambios en la acidificación de la biomasa. Los resultados demostraron un pH neutro de entre 7,1 y 7,74 y con una T° en la Biomasa de entre 27,7 °C a 36°C. Estos valores favorecieron la generación de biogás en los últimos días del proceso digestivo en rangos de entre 380 ml y 560 ml de volumen diario de metano (CH₄). No obstante, la producción de biogás no fue suficiente para generar la presión necesaria y pueda ser cuantificado a través del tubo de neumático que inicialmente se conectó. Atribuido a la cantidad de estiércol empleado que corresponde a 640 kg de estiércol. En la descarga se obtuvo 590 kg de biosol y 1500 litros de biol, no representan la totalidad de la biomasa ingresada debido a las fallas que tuvo el biodigestor durante su funcionamiento y debido a la pérdida de producto durante la descarga.

Las concentraciones de nutrientes como el Nitrógeno, Fósforo y Potasio aumentaron al pasar por un proceso de digestión anaeróbica con una duración de 45 días, presentando valores de Fósforo: 188,31 mg/Kg; Nitrógeno: 0,76 % y Potasio: 437,9 mg/kg; con un pH de 7,49. Estos valores permitirá el desarrollo de alimentos orgánicos, ya que su aplicación en cultivos de culantro demostró un efecto en la altura final de la planta con un promedio de 10,187 cm. Los análisis estadísticos demostraron que el mejor tratamiento fue la aplicación de Biol+Biosol (T4) con un nivel de confianza del 95%. Sin embargo, los tratamientos no mostraron diferencias significativas en el efecto sobre la longitud de la raíz del culantro. A su vez los tratamientos de bioabonos han demostrado un incremento de los nutrientes del suelo con el tratamiento Biosol. El pH requerido

para el desarrollo del culantro se elevó en concentraciones de 0,01; 0,08 y 0,04 para el tratamiento T2; T3 y T4 respectivamente. Los nutrientes de Fósforo y Potasio en relación al suelo inicial incrementaron considerablemente, manteniendo dentro del rango óptimo de los requerimientos nutricionales del culantro; Fósforo: 50 kg/ha y Potasio: 280 kg/ha.

La creación de una guía de operación para el biodigestor tubular representa un paso significativo hacia la promoción de prácticas sostenibles y eficientes en la gestión de residuos orgánicos. Esta guía proporciona a los usuarios directrices claras y precisas para garantizar una operación óptima del biodigestor. Está estructurado por siete etapas desde conceptos básicos, instalación, producción de biogás, biol y biol, control de parámetros fundamentales en la digestión anaeróbica y la aplicación de los biabonos en cultivos de culantro. Al seguir las directrices establecidas, se fomenta la generación de productos de alta calidad con un contenido nutricional adecuado para el desarrollo de las plantas y la mejora de los suelos. Contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y al aprovechamiento eficiente de los residuos como materia prima.

5.2 Recomendaciones

- El lugar donde se instale el biodigestor debe estar despejado de objetos que puedan perforar la geomembrana.
- Para asegurar el desarrollo óptimo de los microorganismos anaeróbicos y garantizar la producción de metano, es necesario que el biodigestor esté completamente sellado.
- Es importante verificar que la geomembrana esté completamente extendida, evitando que se forme arrugas. Para asegurar una distribución uniforme de la mezcla y prevenir su acumulación exclusiva en la entrada.
- Excavar con una inclinación de modo que el lado de ingreso del biodigestor esté en la parte más alta, permitiendo que, al verter la mezcla por gravedad, no se concentre en un punto específico.
- Si se detectan aberturas en la geomembrana, es importante utilizar el mismo material para aplicar los parches y asegurar así el hermetismo del biodigestor.
- Es fundamental lograr una mezcla lo más homogénea posible para evitar la formación de grumos durante el proceso digestivo, facilitando así su extracción al cumplir con el tiempo de retención.
- Es necesario instalar un soporte en el tubo de recepción, dado que, al estar elevado, las conexiones podrían soltarse.

- El tanque de recolección del biol debe ser posicionado dentro de la zanja, al mismo nivel de la geomembrana, permitiendo el paso del líquido con mayor facilidad.
- Se sugiere emplear una bomba para facilitar la extracción del biol y biosol, debido a que las conexiones internas de tubería en la geomembrana pueden dificultar dicho proceso.
- Llevar un monitoreo de las variables claves para la digestión anaeróbica en el mismo horario todos los días, garantizando que los resultados de los análisis de pH no varíen por la temperatura en las distintas horas.
- Aplicar el biol y biosol por un período más largo de las cinco semanas empleados en esta investigación, con la finalidad de obtener datos más representativos.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ACEVEDO, Ana, SÁNCHEZ, Javier & MARTÍNEZ, Jesús.** Aprovechamiento de los residuos generados en las granjas lecheras de boyacá para producción de biogás como combustible para consumo y generacion de energia [En línea]. (Trabajo de titulación). EAN. Bogotá-Colombia. 2022. págs. 1-35. [Consulta: 17 octubre 2023]. Disponible en: <https://repository.universidadean.edu.co/handle/10882/12607>
2. **AGROCALIDAD.** Instructivo para análisis de suelos. [En línea]. 2018 Disponible en: <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2020/05/agua8.pdf>
3. **AGUIRRE GAMERO, Christopher & NUÑEZ CHAMBI, Alexia.** DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE BIODIGESTOR PARA LA OBTENCIÓN DE BIOGÁS OPTIMIZANDO UNA MEZCLA DE SUSTRATOS DE ORIGEN ANIMAL DE CUYES (*Cavia porcellus*), GANADO VACUNO (*Bos taurus*) Y GANADO PORCINO (*Sus scrofa scrofa*), PROCEDENTES DEL FUNDO DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA, MAJES, AREQUIPA, 2022. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Católica de Santa María. Arequipa-Perú. 2022. págs. 1-104. [Consulta: 2023-11-23]. Disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/12266>
4. **AMIGÓ FRANCÉS, María de las Mercedes.** Estudio sobre el impacto ambiental del sector ganadero en España. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Pontifica. Madrid-España. 2019. págs. 1-41. [Consulta: 2023-11-18]. Disponible en: <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/28522>
5. **ANDRADE, Petra et al.** "Beneficios ecológicos y biológicos del hongo cosmopolita *Trichoderma* spágs. en la agricultura: una perspectiva en el campo mexicano Beneficios ecológicos y biológicos del hongo cosmopolita *Trichoderma* spágs. en agricultura: una perspectiva en el campo mexicano". *Revista Argentina de Microbiología* [online], 2023, Vol. 55 (4), págs. 366–377. [Consulta: 17 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0325754123000603>
6. **APARCANA ROBLES, Sandra & JANSEN, Andreas.** "Estudio sobre el Valor Fertilizante de los Productos del Proceso Fermentación Anaeróbica para Producción de Biogás". *German ProfEC, GmbH* [en línea], 2008, (Perú), págs. 1-10. [Consulta: 17 noviembre 2023]. Disponible en: [http://www.german-profec.com/cms/upload/Reports/Estudio%20sobre%20el%20Valor%20Fertilizante%20de%20los%20Productos%20del%20Proceso%20Fermentacion%20Anaerobica%20para%20PProduccion%20de%20Biogas_ntz.pdf](http://www.german-profec.com/cms/upload/Reports/Estudio%20sobre%20el%20Valor%20Fertilizante%20de%20los%20Productos%20del%20Proceso%20Fermentacion%20Anaerobica%20para%20Produccion%20de%20Biogas_ntz.pdf)
7. **ARAUJO ABAD, Salomé & COLLAHUAZO REINOSO, Yadira.** Producción de Biofertilizantes a Partir de Microalgas. *CEDAMAZ* [en línea], 2019, Vol. 9 (2), págs. 81–87. [Consulta: 17 noviembre 2023]. ISSN 1390-5902. Disponible en: <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/648>
8. **ARHUIRE, Clara & CARREÓN, Esmeralda.** Una revisión a la evaluación técnica y económica en la generación del biogás a partir de residuos domésticos para uso familiar [En

[línea]. (Trabajo de titulación). Universidad peruana Unión. Juliaca-Peú. 2020. págs. 1-14. [Consulta: 16 octubre 2023]. Disponible en: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/93881624/478794369-libre.pdf?1667915561=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DUna_revision_a_la_evaluacion_tecnica_y_e.pdf&Expires=1711402071&Signature=PVCpFRuL635Emng6EtNaL5Eq1ST2-incivgpaMIgpyaAujNofhhpLoXaf-4R1C4qQpEBFC4oBjgX7ImIfUyhJziic0iIAx3iF47CV9oKCAqjo5vKqto6w6sIY8TQm3w8krUFNKcRE9t0Sqbe7gGRUP0hqmcybvq08YgMK3Nfc5VZURrhc7kCH6dXJK9hEb-vq-ibHsH1zsiLnc-tgvwoXQEFmkb53xvRSIPAJ1RrShOSKQXQFF581ANDTwMxjw2QOvwuiHK1kZtqs6e1n0fQuAsNWf0rpOS7CxXERaHGUaigVdE0IBpxTW8EuThhuDgf5RNCT3FVeMQpiUJfjing_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

9. **ARIZA, Carla Patricia et al.** "Biodigestión anaerobia como alternativa energética para reducir el consumo de leña en las zonas rurales". *Espacio*, Vol. 39, (2018). ISSN 0798 1015
10. **ARTURO, Holger et al.** "Generación de electricidad a partir de biomasa en la Asociación de Ganaderos de Santo Domingo". *Social Fronteriza*. [en línea], 2022, (United State of America), vol. 2 (6), págs. 11-29. [Consulta: 20 noviembre 2023]. ISSN 2806-5913. Disponible en: <https://www.revistasocialfronteriza.com/ojs/index.php/rev/article/view/25>
11. **BALANTA, Sebastián.** Implementación de un sistema productivo de cilantro (*Coriandrum sativum*), variedad unapal precoso como modelo sostenible de producción agrícola en el corregimiento de Rozo. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad de la Salle. Yopal-Colombia. 2017. págs. 1-69. [Consulta: 2015-07-23]. Disponible en: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?params=/context/ingenieria_agronomica/article/1006/&path_info=46132075_2017.pdf
12. **BARRENA GURBILLÓN, Miguel Angel et al.** "System for the production of biogas and biofertilizers from bovine manure, Molinopampa, Chachapoyas, Amazonas, Perú". *ArnaldoA*. [en línea], 2019, (Perú), vol. 26 (2), págs. 725-734. [Consulta: 20 agosto 2009]. ISSN 1090-7807. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2413-32992019000200014&script=sci_abstract
13. **BAUTISTA, Alejandro.** Sistema biodigestor para el tratamiento de desechos orgánicos. [En línea]. (Trabajo de titulación) Univesridad Carlos III de Madrid. Leganés-Nicaragua. (2010). pág. 64. [Consulta: 16 octubre 2023]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10016/10807>
14. **BETANCOURT, Maria Paula.** Diseño de un biodigestor utilizando tecnología en automatización térmica y agitadores eléctricos. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad El Bosque. Bogotá-Colombia. 2019. págs. 1-50. [Consulta: 2023-11-20]. Disponible en: <https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/2312>
15. **BONGIOVANNI, Marcos & SILVANA, Maria.** "Uso como bioferlizante de digestato derivado de la generación de biogás". *XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. [en línea], 2018, (Argentina), págs. 1-7. [Consulta: 17 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/328228615>
16. **BUGIOLACCHIO, Romina.** USO DE DIGERIDO ANAERÓBICO DE FEEDLOT COMO FERTILIZANTE: EFECTO SOBRE EL CRECIMIENTO DE RAIGRAS

- PERENNE EN DOS SUELOS Departamento de Agronomía Agradecimientos. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Nacional del Sur. Argentina. 2020. págs. 20-23. [Consulta: 2023-11-23]. Disponible en: <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/5200>
17. **CABOS SÁNCHEZ, Jeisson et al.** Evaluación de las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo y Potasio del biol y biosol obtenidos a partir de estiércol de ganado vacuno en un biodigestor de geomembrana de policloruro de vinilo. *ARNALDOA*. [en línea], 2019, (España), vol. 26 (3), págs. 1165-1176. [Consulta: 23 noviembre 2023]. ISSN 2413-3299. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2413-32992019000300021
 18. **CÁMARA MOGUEL, Karla Cristel & LAINES CANEPA, José Ramón.** "La Digestión Anaerobia Y La Bioquímica". *Kuxulkab'*. [en línea], 2014, (Tabasco), vol. 17 (32), págs. 199-205. [Consulta: 20 noviembre agosto 2023]. ISSN 1-12 Disponible en: <https://revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab/article/view/380>
 19. **CHIRIBOGA NOVILLO, Omar Guillermo.** Desarrollo del proceso de producción de biogás y fertilizante orgánico a partir de mezclas de desechos de procesadoras de frutas. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad San Francisco de Quito. Quito-Ecuador. 2010. págs. 1-105. [Consulta: 2023-11-23]. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/741>
 20. **CURILLA, Ericka & FLORES, Magaly.** Efecto del lactosuero en la producción del biogás y las características del bioabono y biol utilizando estiércol de vacuno en un biodigestor Batch en Sicaya - 2021. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Continental. Huancayo. 2022. págs. 1-113. [Consulta: 2023-11-19]. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11106/1/IV_FIN_107_TE_Curilla_Diego_2022.pdf
 21. **DURAZNO, Alexander.** Valoración de estiércol bovino y porcino en la producción de biogás en un biodigestor de producción por etapas. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca-Ecuador. (2018). págs. 26–29. [Consulta: 2023-11-18]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15445/1/UPS-CT007585.pdf>
 22. **ESPINOSA MANTILLA, Karla Bonilla.** Biogás de residuos orgánicos como fuente de energía renovable. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Andina Simón Bolívar Sede Ecuador. Quito-Ecuador. 2021. págs. 1-99.
 23. **ENRIQUEZ SUPANTA, Flora & QUIRITA CARRILLO, Brigitte Yoselin.** Calidad del biofertilizante obtenido de estiércol de vaca y residuos domésticos de una zona urbana – rural del distrito de Lurín – Lima. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad de Cesar Vallejo. Lima-Perú. 2022. págs. 1-91. [Consulta: 2015-07-23]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/113351>
 24. **GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN FRANCISCO DE ORELLANA.** Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Municipal de Francisco de Orellana 2014-2019 [en línea], 2019, [Consulta: 16 octubre 2023]. Disponible en: https://www.orellana.gob.ec/images/pdf2018/8PDYOT_2014-2019_ls.pdf

25. **GARCIA, Jorge; et al.** "Uma breve revisão tipos de biodigestores". *Conhecimento - RIC-CPS* [En línea], 2023, págs. 1–17. [Consulta: 16 octubre 2023]. Disponible en: <http://ric-cps.eastus2.cloudapágs.azure.com/handle/123456789/16054>
26. **GAVILANES, Irene, CHUQUÍN, Cristian & VALVERDE, Víctor.** *Técnicas de Análisis de Laboratorio para Caracterización de Suelos, Residuos Orgánicos, Compost y Alimentos.* [en línea], 2023, vol. 12 (2), págs. 200.219. [Consulta: 20 agosto 2009]. ISBN 9786316557032.
27. **GILBERT, Jane, RICCI, Marco & RAMOLA, Aditi.** Los Beneficios Del Compostaje Y La Digestión Anaeróbica Cuando Se Aplica Al Suelo. [en línea], 2020, págs. 1-21. [Consulta: 20 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.iswalac.org/descarga/Copia-de-REPORT-2-Beneficios-del-compost-y-la-digestión-anaerobica-cuando-se-aplica-al-suelo-SPANISH.pdf>
28. **GÓMEZ LÓPEZ, Cristian Sneyder & ÁNGEL ECHAVEZ, Rony Alejandro.** Diseño e implementación de un sistema piloto para la generación de biogás a través de los lixiviados del proyecto bovino de la granja de la universidad Francisco de Paula Santander Seccional Ocaña. (Trabajo de titulación). Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Ciencias Agrarias y del Ambiente, Escuela. Ocaña-Colombia. 2020. págs. 1–87.
29. **GONZÁLEZ, Carlos.** "Emergencia climática y alimentación". *FMC - Formación Médica Continuada en Atención Primaria* [online], 2023, Vol. 30, no. 6, págs. 306–3011. [Consulta: 16 octubre 2022]. ISSN 1090-7807. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S113420722300097X>
30. **GREEN EMPOWERMENT.** Biogas-Manual_English [En línea]. 2019. Disponible en: https://greenempowerment.org/wp-content/uploads/2021/04/Biogas-Manual_English.pdf
31. **GRIJALVA, Mario Xavier & GUALOTUÑA, Mónica del Rocío.** Evaluación de la eficiencia de producción de biogás en biodigestores tubulares con estiércol bovino mediante la modificación de temperatura y carga orgánica [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Escuela Politécnica Nacional. Quito-Ecuador. 2020. págs. 1-115. [Consulta: 2023-11-23]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/21229>
32. **HIPÓLITO, E. et al.** "Effect of mixed edaphic bacterial inoculants in the early development of improved cocoa cultivars (*Theobroma cacao* L.) in a traditional agroforestry system of Oaxaca, Mexico". *Revista Argentina de Microbiología.* [En línea], 2017, (México) Vol. 49 (4), págs. 356–365. [Consulta: 17 octubre 2022]. Disponible en: I 10.1016/j.ram.2017.04.003.
33. **HUAYAPA, Lourdes & RIVEROS, Yelissa.** Revisión sistemática de los diseños de biodigestores utilizados en la producción de biogás y biol en los últimos 5 años [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad César Vallejo. Lima-Peú. 2022. págs. 1-105. [Consulta: 16 octubre 2022]. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/105210/Huayapa_QLL-Riveros_PYY_-_SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
34. **IPIALES, Oscar & MARITZA, Cuichán.** Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPA) .2023. [Consulta: 16 octubre 2022]. Disponible en:

https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2022/Bolet%C3%ADn_tecnico_ESPAC_2022.pdf

35. **VERA, Iván et al.** "Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I: excretas de ganado bovino y porcino". *Ingeniería, Investigación y Tecnología*. [en línea], 2014, Vol. 15, (3), págs. 429–436. [Consulta: 16 octubre 2022]. ISSN 1405-7743 FI-UNAM. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S140577431470352X>
36. **KAZA, Silpa et al.** *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050* [en línea]. NW-Washington: The World Bank, 2018. [Consulta: 16 octubre 2022]. Disponible en: <https://openknowledge.worldbank.org/entities/publication/d3f9d45e-115f-559b-b14f-28552410e90a>
37. **LÓPEZ NICOLA, Tito Smith.** Impacto del uso de fertilizantes químicos en la producción del cultivo de naranja (*Citrus sinensis* L.). [online]. (Trabajo de titulación). Universidad Técnica de Babahoyo. Los Roís-Ecuador. 2022. págs. 1-24. [Consulta: 2022-10-17]. Disponible en: <http://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/11317>
38. **LORENZO ACOSTA, Yaniris & ABREU, OBAYA, Cristina Ma.** "La digestión anaerobia. Aspectos Teóricos. Parte I". *ICIDCA*. [en línea], 2005, (país) volumen XXXIX (1), págs. 35-43. [Consulta: 23 noviembre 2023]. ISSN 0138-6204. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120659006>
39. **MARTÍ HERRERO, Jaime Emilio.** *Biodigestores Tubulares: Guía de Diseño y Manual de Instalación 1* [en línea]. Ecuador, 2019. [Consulta: 20 noviembre 2023]. Disponible en: https://repositorio.ikiam.edu.ec/jspui/handle/RD_IKIAM/351
40. **MARTÍ HERRERO, Jaime et al.** "Hacia un sector de biodigestores sostenible en Ecuador: Insumos para un componente de biodigestores de PNABE". *Climate Technology Centre & Network* [en línea], 2019, (Ecuador), págs. 1-83. [Consulta: 20 noviembre 2023]. Disponible en: https://www.ctc-n.org/system/files/dossier/3b/r4.1-20191210_programa_nacional_de_biodigestores_en_ecuador-ctcn.pdf
41. **MARTÍNEZ ROMERO, Anirebis & LEYVA GALÁN, Angel.** "Review Biomass crops in the agroecosystem. Its benefits agroecological". *Cultivos Tropicales* [en línea]. 2014. Vol. 35, (1), págs. 11–20. [Consulta: 19 noviembre 2023]. ISSN 1819-4087. Disponible en: <http://ediciones.inca.edu.cu>
42. **MERCADO REYES, Ingrid & ÁLVAREZ-MONTERO, Xavier.** "ABiorrefinerías de microalgas: perspectivas en Ecuador". *CYTED*, (2023), (Ecuador). págs. 7-63.
43. **MERCURIALI, Lilas et al.** "A public health surveillance system applied to climate change for cities". *Gaceta Sanitaria*. [en línea], 2022, (España) Vol. 36 (3), págs. 7. [Consulta: 16 octubre 2022]. ISSN 0213-9111. Disponible en: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0213-91112022000300016&lng=en&nrm=iso
44. **MESÍAS SHULCA, Doménica Selena.** Revisión y análisis de bibliografía actualizada sobre el tratamiento anaeróbico de lixiviados de rellenos sanitarios municipales. *Industry and Higher Education* [en línea], 2021, vol. 3 (1), págs. 1689–1699. [Consulta: 20 noviembre

- 2023]. Disponible en: <http://journal.unilak.ac.id/index.php/JIEB/article/view/3845%0Ahttp://dspace.uc.ac.id/handle/123456789/1288>
45. **MONTENEGRO, Raquel Díaz.** Producción de biogás y bioabonos a partir de estiércol de bovino en biodigestor tubular en Naranjos, Bagua, Amazonas. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza - UNTRM. Chachapoyas-Perú. 2020. págs. 1-49. [Consulta: 2023-11-19]. Disponible en: <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/2072>
46. **MORALES POLO, Carlos, CLEDERA CASTRO, María del Mar & MORATILLA SORIA, Yolanda.** "Reviewing the anaerobic digestion of food waste: From waste generation and anaerobic process to its perspectives". *Applied Sciences (Switzerland)*. [en línea], 2018, vol. 8 (10), págs. 199-205. [Consulta: 20 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2076-3417/8/10/1804>
47. **MOLINA, L., et al.** "Effect of digested cattle manure on soil properties and crop yield under drip irrigation in a Mediterranean climate". *Agronomy*, [en línea], 2016, vol. 13 (3), págs. 1-15. [Consulta: 20 noviembre 2023]. ISSN 1090-7807. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4395/13/3/626>
48. **MUÑOZ, Manolo et al.** "ORGANIC WASTE FROM LIVESTOCK SYSTEMS: PRODUCTION OF BIOGAS AND DERIVATIVES". *Tropical and Subtropical Agroecosystems* [En línea], 2018 Vol. 21 (1), págs. 109–113. [Consulta: 17 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/2570>
49. **NEGRETE, Josslyn.** Diseño de un biodigestor de domo flotante para la obtención de biogás a partir de estiércol de ganado vacuno en la parroquia Cubijies. [En línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2021. págs. 1-113. [Consulta: 2023-11-16]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/16731>
50. **NOXOLO, Sibiyi, MUZENDA, Edison & TEFAGIORGIS, Habtom.** 2014. Effect of Temperature and pH on The Anaerobic Digestion of Grass Silage. *In Proceedings of the 6th International Conference on Green Technology, Renewable Energy and Environmental Engineering, Cape Town, South Africa* [online]. No. November, págs. 27–28. Retrieved from : https://www.researchgate.net/publication/281837326_Effect_of_Temperature_and_pH_on_the_Anaerobic_Digestion_of_Grass_Silage
51. **NTE INEN 2176.** Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176: 2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO
52. **ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS.** *La ganadería produce más gases contaminantes que el transporte | Noticias ONU.* [blog]. Naciones Unidas, 2006. [Consulta: 14 noviembre 2023]. Disponible en: <https://news.un.org/es/story/2006/11/1092601>
53. **ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA-FAO.** *Estado Mundial de la Agricultura y la alimentación, superar los desafíos relacionados con el agua en la agricultura* [en línea]. Roma, 2020. [Consulta: 16

octubre 2022]. Disponible en: <https://www.fao.org/documents/card/en?details=cb1447es>

54. **ORJUELA, Doris.** EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE CILANTRO (CORIANDRUM SATIVUM) A TRAVÉS DE LA FERTILIZACIÓN QUÍMICA Y ORGÁNICA EN LA HUERTA DE LA IETA MARIANO MELENDRO DE LA CIUDAD DE IBAGUÉ. [En línea]. (Trabajo de titulación). Facultad de Postgrados Ibagué -Colombia. 2018. págs. 1-73. [Consulta: 2023-11-23]. Disponible en: https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/9973/1/TE.PRO_OrjuelaCastilloDorisStella_2018.pdf
55. **ORTIZ, Crhistian Reiniery.** Prácticas para la mejora en el compostaje de abonos orgánicos elaborados a base de estiércol y su efecto en el suelo: Revisión de literatura. [En línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano Honduras. Zamorano-Honduras a. 2020. págs. 20-23. [Consulta: 2023-11-23]. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/c4199442-92ac-4b47-955f-bbb0066d86f5/content>
56. **OSORIO SARAZ, Jairo Alexander & CIRO VELÁSQUEZ, Héctor José.** "Evaluación un sistema de biodigestión en serie para clima frío". *Facultad Nacional de Agronomía*. [en línea], 2007, (Colombia), vol. 60 (2), págs. 4146-4162. [Consulta: 20 noviembre 2023]. ISSN 1090-7807. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179914078017>
57. **PARRA HUERTAS, Ricardo.** Anaerobic digestion: biotechnological mechanisms in waste water treatments and their application in food industry. *Scielo* [en línea], 2015, (United State of America), vol. 10 (2), págs. 142–159. [Consulta: 20 noviembre 2023]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1909-04552015000200014
58. **PELEGRÍN ROMERA, Carlos.** Diseño de un digestor anaerobio para codigestión de fangos de depuración y residuos líquidos de la industria alimentaria, con capacidad para tratar hasta 120 m³ /d. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia-España. 2021. págs. 1-98.
59. **PINOS RODRÍGUEZ, Juan M. et al.** "Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de américa". *Agrociencia*. Vol. 46, no. 4, (2012). págs. 359–370.
60. **PIZARRO LOAIZA, Carlos Alexander.** Biogás para cocción a partir de la digestión anaerobia de pastos en zonas rurales de clima tropical.. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Doctoral). Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona-España. 2021. págs. 1-184. [Consulta: 2023-11-23]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/354955?show=full>
61. **PRÍNCIPE GARRAMPIE, Walter Concepción.** Contaminación del aire por las excretas del ganado vacuno en un establo del sector Isla Blanca, Centro Poblado Pampa la Grama, Santa, Anchash en el 2019. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Nacional del Santa. Nuevo J-Perú. 2022. págs. 1-137. [Consulta: 2023-11-23]. Disponible en: <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3930>
62. **QUISPE CONDORI, Rober Lee.** Evaluación de un biodigestor de flujo discontinuo para generar biogás a partir de excretas de ganado vacuno en zonas alto andinas, Juliaca - 2020. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Peruana Unión. Juliaca-Perú. 2021. págs. 20-

23. [Consulta: 2023-11-23]. Disponible en: <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/4933>
63. **RIVAS SOLANO, Olga, FAITH VARGAS, Margie & GUILLÉN WATSON, Rossy.** 2011. Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad. *Revista Tecnología en Marcha* [online]. Vol. 23, no. 1, pág. 39. Retrieved from : https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/132
64. **RODRÍGUEZ PERDIGÓN, Luis Alejandro.** VIABILIDAD TÉCNICA PARA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS-FORSU. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad EAN. Bogotá-Colombia. 2014. págs. 1-67. [Consulta: 2023-11-19]. Disponible en: <https://repository.universidadean.edu.co/handle/10882/1560>
65. **SANTAFÉ.** Manual de uso del biodigestor. [en línea]. 2019. [Consulta: 19 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.santafe.gob.ar/ms/academia/wp-content/uploads/sites/27/2019/09/Manual-de-uso-de-biodigestores-10001.pdf>
66. **SINGH, K et al.** "Biogas production from organic waste and its applications: A comprehensive review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. [en línea], 2016, vol. 1 (2), págs. 742-769. [Consulta: 20 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012824116500009X>
67. **SOCORRO, M et al.** 2018. Generación de un inoculante acelerador del compostaje. *Rev Argent Microbiol*. Vol. 50, no. 2, págs. 206–210. DOI 10.1016/j.ram.2017.03.010.
68. **SORIA, Rafael & CARVAJAL, Pablo.** Biogás : Una Alternativa para la Expansión de Generación Eléctrica en El Ecuador. *Energía*. [en línea], 2010 , (United State of America), vol. 127 (2), págs. 38-45. [Consulta: 20 noviembre 2023]. ISSN 1390-5074. Disponible en: <https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/131>
69. **TACO, Yenifer Erika.** El Impacto Ambiental de la Aplicación de Abono Orgánico Sólido para el Tratamiento de Suelos Agrícolas [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad César Vallejo. Lima-Perú. 2022. págs. 1-53. [Consulta: 2023-11-23]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/88819>
70. **TOBÓN, Alexander.** Análisis de los posibles factores que dificultan la implementación de biodigestores tipo tubular y cúpula flotante en las zonas rurales y urbanas de la región Norte de Colombia. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad del Norte. Colombia. 2018. págs. 1-135. [Consulta: 2023-11-23]. Disponible en: <https://manglar.uninorte.edu.co/handle/10584/8529>
71. **TORRES, Carlos et al.** "Diseño e implementación de una planta piloto de producción de Biogás, Biol y Biosol". *Arnaldoa*. Vol. 26 (3), págs. 1017–1032. [Consulta: 16 octubre 2022]. ISSN 1815-8242. Disponible en: 10.22497/ARNALDOA.263.26311.
72. **VARNERO MORENO, María Tereza.** Manual de biogás. [en línea]. Chile, 2011. [Consulta: 20 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>
73. **VARGAS, Yadira; et al.** " Potencial de Biomasa en América del Sur para la Producción de Bioplásticos. Una Revisión". *Revista Politécnica*. [en línea], 2021, (Ecuador), vol. 48 (2),

págs. 7-20. [Consulta: 19 noviembre 2023]. ISSN 2477. Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-01292021000400007

74. **VÁZQUEZ, Andrea Larios.** "La energía renovable en México: perspectivas desde el Balance Nacional de Energía 2012". *Economía Informa*. [en línea], 2014, (México), vol. 385 (2), págs. 90-99. [Consulta: 16 noviembre 2023]. Disponible en: 10.1016/s0185-0849(14)70423-2.
75. **WATERSUPPLY EC.** "Guía de operativa, instalación y operativa de biodigestor agrícola". No. 8, (2022), págs. 1-16.
76. **ZAMBRANO GAVILANES, Freddy & LIMA MONCAYO, Argenys Omar.** "Uso de fertilizantes orgánicos en la producción de Cucurbitáceas: revisión de literatura". *Paideia XXI* [en línea], 2023, Vol. 13 (1), págs. 141-159. [Consulta: 16 octubre 2022]. Disponible en: <http://revistas.urpág.edu.pe/index.php/Paideia/article/view/5671>

Cristian Tenelanda E.



ANEXOS

ANEXO A: FOTOGRAFÍAS



Fotografía 1: Mantenimiento e instalación del biodigestor tubular en el Centro de Investigación e Interpretación Biótica “La Belleza”



Fotografía 2: Biodigestor tubular a los 45 días de iniciar el proceso de digestión anaeróbica.



Fotografía 3: Producto final del biol, (fracción líquida) una vez pasado por el proceso de filtración y envasado.



Fotografía 4: Producto final del biosol, (fracción sólida) una vez pasado por el proceso de filtración, secado, triturado, tamizado y empaquetado.



Fotografía 5: Cultivo de culantro en los tratamientos Testigo; Biol; Biosol; Biol+Biosol.

ANEXO B: ANÁLISIS QUÍMICOS

a) Análisis de Nitrógeno, Fósforo y Potasio del estiércol (Abono)

	ANÁLISIS BROMATOLÓGICO	Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación N° SAE LEN 07-003
	Informe de Ensayo	
	N°: 159 404	

Coca, 6 de diciembre de 2023

1.- INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Solicitado por: Srta. Lisbet Yáñez.

Dirección: Estación Experimental la Belleza.

Fecha de toma de muestra: 2 023/10/22 Hora: 15:00

Responsable: Srta. Lisbet Yáñez.

Identificación de la muestra: Muestra de Abono.

2.- INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

Fecha ingreso al Laboratorio: 2 023/10/23 Hora: 14:42

Condiciones Ambientales de Análisis: T. Máx: 26,5°C

Fecha del análisis: 2 023/10/23 a 2 023/12/06

T. Mín: 21,5°C

Código de muestra: **b 3 452** SPS: 23 - 1 724

2.1.- PARÁMETROS, MÉTODO / REFERENCIA:

Ítem	Análisis solicitados	Método de Referencia Normalizado/ PEE - LABSU	Unidad	Código de muestra	
1	Macroelementos	Calcio	SM 3030 B, 3111 B/ PEE-LABSU-06/30	mg/Kg	409,931
		Magnesio	SM 3030 B, 3111 B/ PEE-LABSU-06/31		318,066
		Fósforo	SM 2540 B/ PEE-LABSU-73		564,728
		Sodio	SM 3030 B, 3111 B/ PEE-LABSU-06/32		7249,106
2	Microelementos	Cobre	SM 3030 B, 3111 B PEE-LABSU-06/26	mg/Kg	31,028
		Hierro	SM 3030 B, 3111 B PEE-LABSU-06/27		42,213
		Manganeso	SM 3030 B, 3111 B PEE-LABSU-06/28		31,984
		Zinc	SM 3030 B, 3111 B PEE-LABSU-06/29		3,853
3	Nitrógeno	KJELDAHL, EPA 351.2/ PEE-LABSU-71	%	0,56	
4	Fósforo	SM 2540 B/ PEE-LABSU-73	mg/Kg	30,86	

2.2.- COMENTARIOS Y OBSERVACIONES

- › El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por el cliente.
- › El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo conforme lo solicitado por el cliente.

3.- RESPONSABLE DEL INFORME:



Ing. Viviana Lara Villegas
DIRECCIÓN GENERAL
AUTORIZADO

b) Análisis de Nitrógeno, Fósforo y Potasio del Bioabono (Biosol)



INFORME DE ENSAYO N° 19 870 a

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Coca, 29 de enero de 2024

Empresa:	LISBET YANEZ.			
Solicitado por:	Srta. Lisbeth Yanez.	Dirección:	Orellana.	
Toma de muestra:	Srta. Lisbeth Yanez.	Fecha y Hora:	19/01/2024	14:24
Identificación de la muestra:	Muestra Bioabono, Locación Sede Orellana Campus Norte.			

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

Fecha y hora ingreso al Laboratorio:	19/01/2024	17:10	Condiciones Ambientales	T max: 32°C
Fecha Final de Analisis:	29/01/2024			T min: 22°C

PARÁMETROS, MÉTODO / REFERENCIA y RESULTADOS

Parámetros / Análisis Solicitado	Método de Referencia ITE-AQLAB	Unidad	Resultado	Incertidumbre (k=2)
*Fosforo disponible	Booker Tropical Soil Manual / 51	mg/Kg	188,32	~
*Nitrogeno Total	AOAC 2001. 11 / PA-FQ-140	%	0,76	~
*Potencial de Hidrogeno	EPA 9045 D / 52/01	PH	7,49	~
*Potasio	EPA 3050 B, SM 3111 B / 04/33	mg/Kg	4379	~

REFERENCIA Y OBSERVACIONES:

El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por El cliente.

Los límites permisibles de las Normativas (®) y los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.

Los resultados solo se refieren a la muestra sometida a ensayo, "la misma que ha sido suministrada por el cliente".

Cuando la muestra es tomada por el personal de AQLAB, las condiciones de toma de muestra son controladas según el ITO-AQLAB-01, éstas no inciden en los resultados que se describen en el presente informe.

El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos relacionados a la muestra son conforme lo solicitado por el cliente.

Prohibida la reproducción parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.



Ing. Nelson Shiguango
ASISTENTE DE LA DIRECCIÓN TÉCNICA
AUTORIZADO

19 870 a

c) Análisis de Nitrógeno, Fósforo y Potasio del suelo inicial (Sin tratamiento)



INFORME DE ENSAYO N° 19 870 b

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Coca, 29 de enero de 2024

Empresa:	LISBET YANEZ.			
Solicitado por:	Srta. Lisbeth Yanez.	Dirección:	Orellana.	
Toma de muestra:	Srta. Lisbet Yanez.	Fecha y Hora:	19/01/2024	16:28
Identificación de la muestra:	Muestra Suelo Inicial, Locación Sede Orellana Campus Norte.			

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

Fecha y hora ingreso al Laboratorio:	19/01/2024	17:10	Condiciones Ambientales	T max: 32°C
Fecha Final de Análisis:	29/01/2024			T min: 22°C

PARÁMETROS, MÉTODO / REFERENCIA y RESULTADOS

Parámetros / Análisis Solicitado	Método de Referencia ITE-AQLAB	Unidad	Resultado	Incertidumbre (k=2)
*Fosforo disponible	Booker Tropical Soil Manual / 51	mg/Kg	31,06	~
*Nitrogeno Total	AOAC 2001. 11 / PA-FQ-140	%	0,16	~
*Potencial de Hidrogeno	EPA 9045 D / 52/01	PH	7,02	~
*Potasio	EPA 3050 B, SM 3111 B / 04/33	mg/Kg	206	~

REFERENCIA Y OBSERVACIONES:

El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por El cliente.
 Los límites permisibles de las Normativas (®) y los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.
 Los resultados solo se refieren a la muestra sometida a ensayo, "la misma que ha sido suministrada por el cliente".
 Cuando la muestra es tomada por el personal de AQLAB, las condiciones de toma de muestra son controladas según el ITO-AQLAB-01, éstas no inciden en los resultados que se describen en el presente informe.
 El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos relacionados a la muestra son conforme lo solicitado por el cliente.
 Prohibida la reproducción parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.



Ing. Nelson Shiguango.
**ASISTENTE DE LA DIRECCIÓN TÉCNICA
 AUTORIZADO**

19 870 b

d) Análisis de Nitrógeno, Fósforo y Potasio del suelo con tratamiento (Biol)



INFORME DE ENSAYO N° 19 983 c

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Coca, 5 de marzo de 2024

Empresa:	LISBET YANEZ.		
Solicitado por:	Sra. Lisbeth Yanez.	Dirección:	Orellana.
Toma de muestra:	Sra. Lisbeth Yanez.	Fecha y Hora:	17/02/2024 15:30
Identificación de la muestra:	Suelo - Boisol, Locación El Coca.		

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

Fecha y hora ingreso al Laboratorio:	17/02/2024	16:48	Condiciones Ambientales	T max: 32°C
Fecha Final de Analisis:	04/03/2024			T min: 22°C

PARÁMETROS, MÉTODO / REFERENCIA y RESULTADOS

Parámetros / Análisis Solicitado	Método de Referencia ITE-AQLAB	Unidad	Resultado	Incertidumbre (k=2)
*Fosforo disponible	Booker Tropical Soil Manual / 51	mg/Kg	22,21	~
***Nitrogeno Total	AOAC 2001, 11 / PA-FQ-140	%	0,17	~
*Potencial de Hidrogeno	EPA 9045 D / 52/01	PH	7,01	~
*Potasio	EPA 3050 B, SM 3111 B / 04/33	mg/Kg	470,76	~

REFERENCIA Y OBSERVACIONES:

El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por El cliente.

Los límites permisibles de las Normativas (N) y los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.

Los resultados solo se refieren a la muestra sometida a ensayo, "la misma que ha sido suministrada por el cliente".

Cuando la muestra es tomada por el personal de AQLAB, las condiciones de toma de muestra son controladas según el ITO-AQLAB-01. éstas no inciden en los resultados que se describen en el presente informe.

El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos relacionados a la muestra son conforme lo solicitado por el cliente.

Prohibida la reproducción parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.

*** Resultado proporcionado por Laboratorio ECUACHEMLAB, parámetro que no forma parte del alcance de Acreditación.



[Firma]
 Ing. Armando Meléndez Lara,
 DIRECTOR TECNICO
 AUTORIZADO

19 983 c

e) Análisis de Nitrógeno, Fósforo y Potasio del suelo con tratamiento (Biosol)



INFORME DE ENSAYO N° 19 983 b

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Coca, 5 de marzo de 2024

Empresa:	LISBET YANEZ.			
Solicitado por:	Srta. Lisbeth Yanez.	Dirección:	Orellana.	
Toma de muestra:	Srta. Lisbeth Yanez.	Fecha y Hora:	17/02/2024	15:15
Identificación de la muestra:	Suelo - Biosol, Locación El Coca.			

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

Fecha y hora ingreso al Laboratorio:	17/02/2024	16:48	Condiciones Ambientales	T max: 32°C
Fecha Final de Analisis:	04/03/2024			T min: 22°C

PARÁMETROS, MÉTODO / REFERENCIA y RESULTADOS

Parámetros / Análisis Solicitado	Método de Referencia ITE-AQLAB	Unidad	Resultado	Incertidumbre (k=2)
*Fosforo disponible	Booker Tropical Soil Manual / 51	mg/Kg	66,07	~
***Nitrogeno Total	AOAC 2001. 11 / PA-FQ-140	%	0,32	~
*Potencial de Hidrogeno	EPA 9045 D / 52/01	PH	7,10	~
*Potasio	EPA 3050 B, SM 3111 B / 04/33	mg/Kg	1010,47	~

REFERENCIA Y OBSERVACIONES:

El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por El cliente.

Los límites permisibles de las Normativas (®) y los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.

Los resultados solo se refieren a la muestra sometida a ensayo, "la misma que ha sido suministrada por el cliente".

Cuando la muestra es tomada por el personal de AQLAB, las condiciones de toma de muestra son controladas según el ITC-AQLAB-01, éstas no inciden en los resultados que se describen en el presente informe.

El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos relacionados a la muestra son conforme lo solicitado por el cliente.

Prohibida la reproducción parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.

*** Resultado proporcionado por Laboratorio ECUACHEMLAB, parámetro que no forma parte del alcance de Acreditación.




Ing. Armando Meléndez Lara.
DIRECTOR TECNICO
AUTORIZADO

19 983 b

f) Análisis de Nitrógeno, Fósforo y Potasio del suelo con tratamiento (Biol+Biosol)



INFORME DE ENSAYO N° 19 983 a

INFORMACIÓN PROPORCIONADA POR EL CLIENTE

Coca, 5 de marzo de 2024

Empresa:	LISBET YANEZ.			
Solicitado por:	Srta. Lisbeth Yanez.	Dirección:	Orellana.	
Toma de muestra:	Srta. Lisbet Yanez.	Fecha y Hora:	17/02/2024	15:00
Identificación de la muestra:	Suelo - Biol + Boisol, Locación El Coca.			

INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

Fecha y hora ingreso al Laboratorio:	17/02/2024	16:48	Condiciones Ambientales	T max: 32°C
Fecha Final de Análisis:	04/03/2024			T min: 22°C

PARÁMETROS, MÉTODO / REFERENCIA y RESULTADOS

Parámetros / Análisis Solicitado	Método de Referencia ITE-AQLAB	Unidad	Resultado	Incertidumbre (k=2)
*Fosforo disponible	Booker Tropical Soil Manual / 51	mg/Kg	34,16	~
***Nitrogeno Total	AOAC 2001. 11 / PA-FQ-140	%	0,26	~
*Potencial de Hidrogeno	EPA 9045 D / 52/01	PH	7,06	~
*Potasio	EPA 3050 B, SM 3111 B / 04/33	mg/Kg	503,76	~

REFERENCIA Y OBSERVACIONES:

El laboratorio no se responsabiliza por la información proporcionada por El cliente.

Los límites permisibles de las Normativas (®) y los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación del SAE.

Los resultados solo se refieren a la muestra sometida a ensayo, "la misma que ha sido suministrada por el cliente".

Cuando la muestra es tomada por el personal de AQLAB, las condiciones de toma de muestra son controladas según el ITO-AQLAB-01, éstas no inciden en los resultados que se describen en el presente informe.

El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo, los datos relacionados a la muestra son conforme lo solicitado por el cliente.

Prohibida la reproducción parcial por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio.

*** Resultado proporcionado por Laboratorio ECUACHEMLAB, parámetro que no forma parte del alcance de Acreditación.

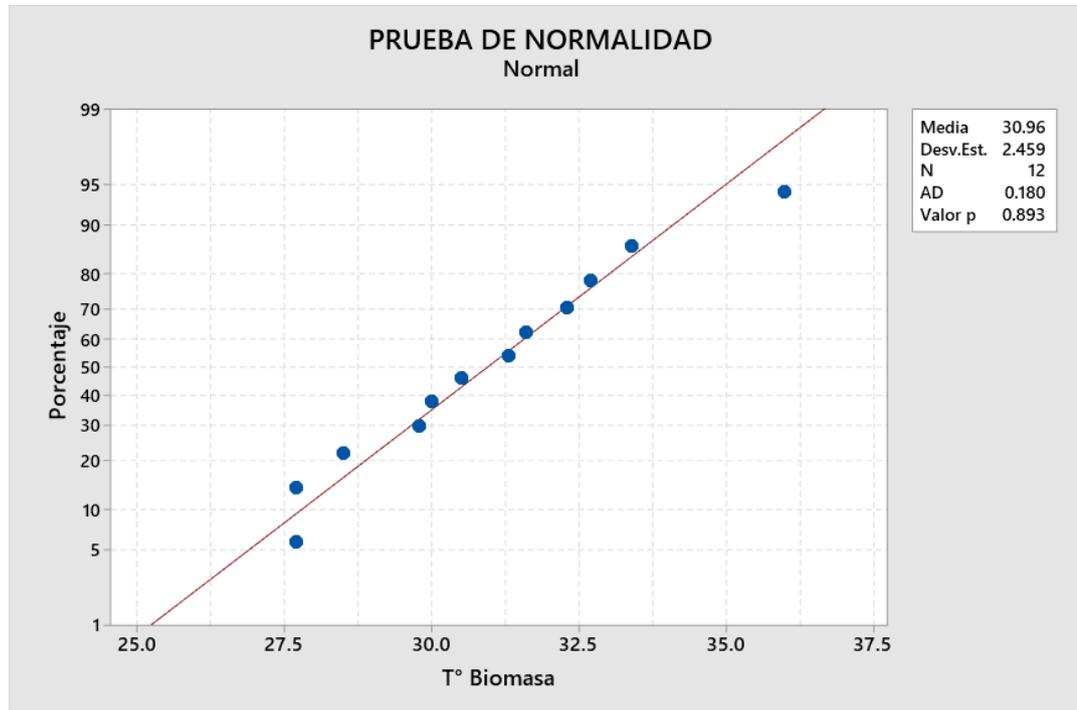


Armando Melendrez Lara
Ing. Armando Melendrez Lara,
DIRECTOR TECNICO
AUTORIZADO

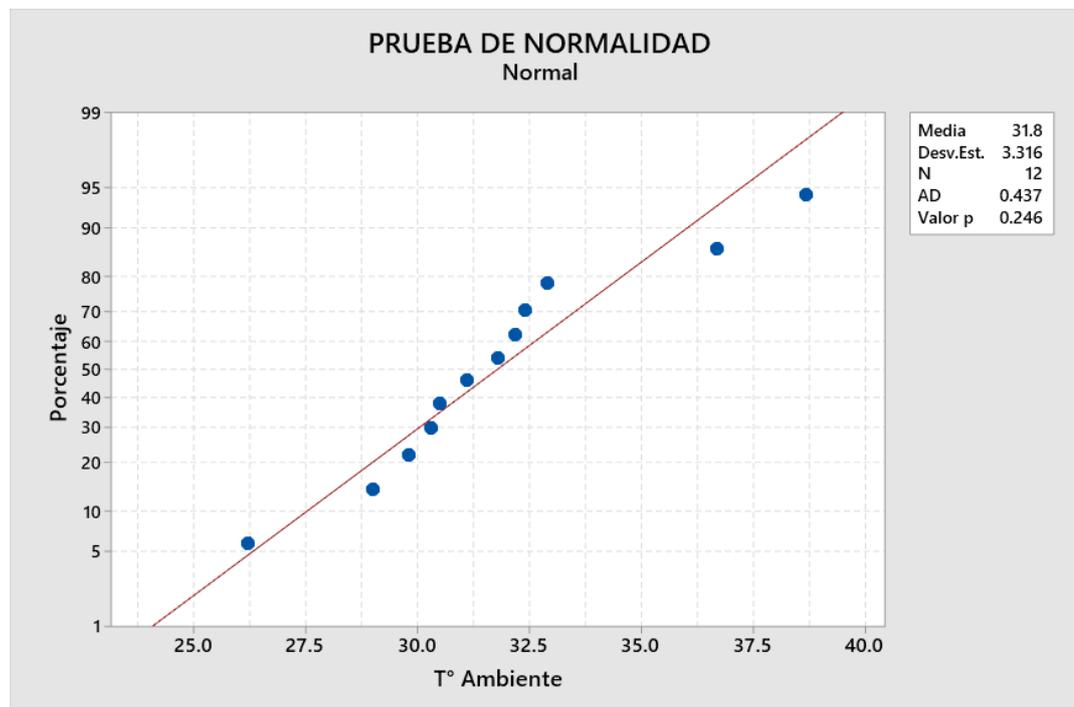
19 983 a

ANEXO C: ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

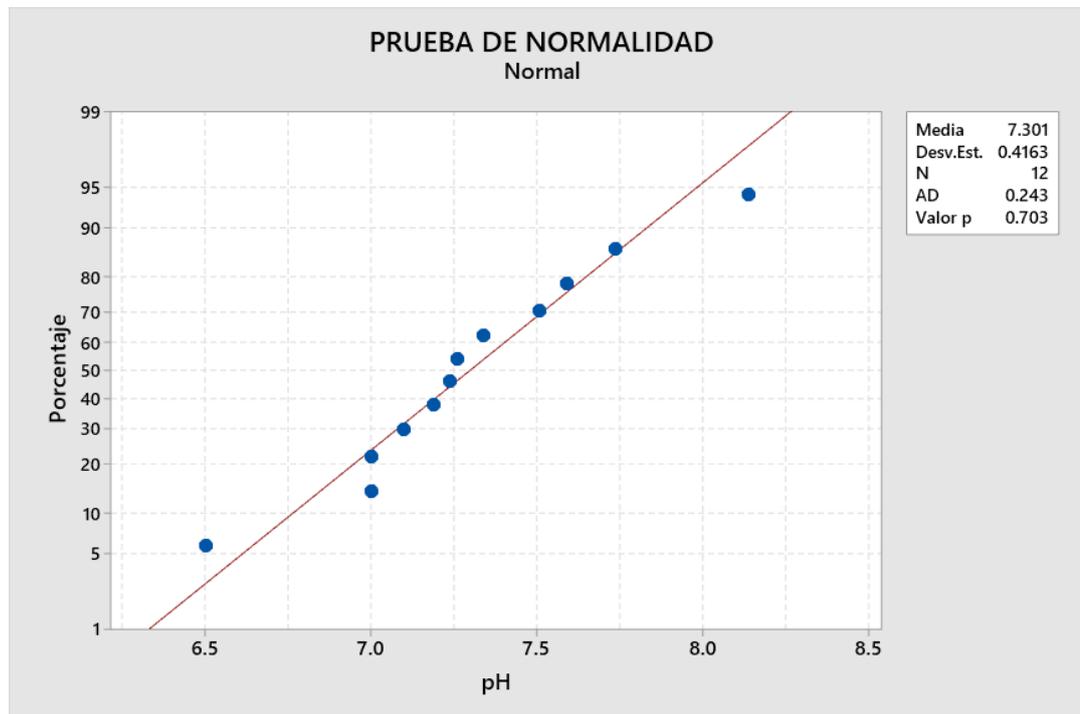
a) Prueba de normalidad de la variable T° Biomasa.



b) Prueba de normalidad de la variable T° Ambiente.



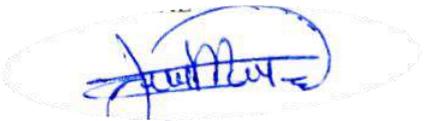
c) Prueba de normalidad de la variable pH.





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 22/ 07 / 2024

INFORMACIÓN DE LA AUTORA
Nombres – Apellidos: Ginger Lisbet Yáñez Arequipa
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Ambiental
Título a optar: Ingeniera Ambiental
 Ing. Jennifer Alexandra Orejuela Romero M. Sc. Director del Trabajo de Titulación  Ing. Demmy Jussey Mora Silva M. Sc. Asesor del Trabajo de Titulación