

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES**

CARRERA DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

**“EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS AL
MEZCLAR ESTIÉRCOL VACUNO CON RESIDUOS
ORGÁNICOS URBANOS DE PEDRO MONCAYO
MEDIANTE DIGESTIÓN ANAEROBIA”**

**PLAN DE TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL
TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES**

AUTOR:

BRAYAN ARMANDO QUILUMBA CHORLANGO

DIRECTOR

**ING. JORGE EDWIN GRANJA RÚALES
IBARRA
JUNIO - 2021**

UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES**

INGENIERIA EN ENERGIAS RENOVABLES

**“EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS AL
MEZCLAR ESTIÉRCOL VACUNO CON RESIDUOS
ORGÁNICOS URBANOS DE PEDRO MONCAYO
MEDIANTE DIGESTIÓN ANAEROBIA”**

Trabajo de titulación revisado por el Comité Asesor, previo a la
obtención del Título de:

INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES

APROBADO:

Ing. Jorge Granja
DIRECTOR



FIRMA

PhD. Juan Carlos García
ASESOR



FIRMA

MSc. Santiago Zarate
ASESOR



FIRMA

IBARRA – ECUADOR

JUNIO, 2021



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	172484472-3		
APELLIDOS Y NOMBRES:	QUILUMBA CHORLANGO BRAYAN ARMANDO		
DIRECCIÓN:	TABACUNDO - PICALQUI		
EMAIL:	baquilumbac@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	2366762	TELÉFONO MÓVIL:	0989889941


DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS AL MEZCLAR ESTIÉRCOL VACUNO CON RESIDUOS ORGÁNICOS URBANOS DE PEDRO MONCAYO MEDIANTE DIGESTIÓN ANAEROBIA
AUTOR (ES):	QUILUMBA CHORLANGO BRAYAN ARMANDO
FECHA: DD/MM/AAAA	3 de junio de 2021
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES
ASESOR /DIRECTOR:	ING. JORGE EDWIN GRANJA RUALES

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 8 días del mes de junio de 2021

EL AUTOR:

(Firma) 
Nombre: Brayan Quilumba

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA – UTN

Fecha: Ibarra, 08 de Junio del 2021

QUILUMBA CHORLANGO BRAYAN ARMANDO

**EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS AL MEZCLAR
ESTIÉRCOL VACUNO CON RESIDUOS ORGÁNICOS URBANOS DE
PEDRO MONCAYO MEDIANTE DIGESTIÓN ANAEROBIA**

TRABAJO DE GRADO

Ingeniera en Energías Renovables, Universidad Técnica del Norte, Carrera de
Ingeniería en Energía Renovables, Ibarra, 08 de junio del 2021.

DIRECTOR: Ing. Jorge Granja

El objetivo de esta investigación fue valorar la producción de biogás al mezclar
estiércol vacuno con residuos orgánicos urbanos de Pedro Moncayo

AUTOR



Quilumba Chorlango Brayan Armando

Director



Ing. Jorge Edwin Granja Ruales

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR


Ibarra, 08 de junio del 2021

Ing. Jorge Granja
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Certifica

Que, el proyecto de tesis de grado titulado "EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS AL MEZCLAR ESTIÉRCOL VACUNO CON RESIDUOS ORGÁNICOS URBANOS DE PEDRO MONCAYO MEDIANTE DIGESTIÓN ANAEROBIA", ha sido realizado en su totalidad por el estudiante Quilumba Chorlango Brayan Armando, para la obtención del título de Ingeniero en Energías Renovables. Luego de ser revisada, considerando que se encuentra incluido y cumple con las exigencias y requisitos académicos de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, autorizando su presentación para los fines legales pertinentes.

Es lo que puedo certificar en honor a la verdad.


.....
Ing. Jorge Edwin Granja Ruales
C.I.: 1001143757

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer de manera especial a mis padres y hermanos por su constante apoyo económico y moral. También quiero agradecer a la Universidad Técnica del Norte, a la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y ambientales y a todos los miembros docentes y personal que conforman la Carrera de Ingeniería en Energías Renovables y Recursos Naturales Renovables por haber compartido sus grandes conocimientos y vivencias.

A su vez extender mi eterno agradecimiento a mi tutor Ing. Jorge Granja y asesores de tesis MSc. Santiago Zárate y PhD. Juan Carlos Gracia, por su esmerada dedicación, guía y predisposición en cada una de las etapas de mi investigación.

Finalmente, a mis amigos con quienes compartimos grandes momentos dentro y fuera de las aulas.

Brayan Armando Quilumba Chorlango

DEDICATORIA

A mis amados padres María Chorlango y Daniel Quilumba por sus infaltables consejos, apoyo y tiempo invertido en cada una de las etapas que me llevaron a conseguir este triunfo. Gracias por ser el motor, el ejemplo e infundir los valores que me impulsan a ser una persona humilde e íntegra, tanto en lo personal como profesional, no está demás decir que son lo mejor que tengo y sin ustedes esto no hubiera sido posible.

También quiero agradecer a mis hermanos Rocío, María, Cesar, Erika, Daniela y Edwin por ser un ejemplo como persona, en especial a mi hermana Rocío de quien he aprendido a luchar para conseguir mis sueños, sin ti esto no hubiera sido posible. Gracias, amados hermanos por todos los gratos momentos compartidos forman parte fundamental en mi vida.

A mi sobrino Michael gracias porque siendo tan pequeño me has enseñado que la vida esta llena risas, experiencias y lecciones.

Y a todos mis amigos y conocidos quienes formaron parte de esta gran etapa.

Esto no es un adiós es un hasta luego.

Brayan Armando Quilumba Chorlango

TABLA DE CONTENIDOS

CONTENIDO

Páginas

INDICE DE TABLAS.....	xiii
INDICE DE FIGURAS.....	xiv
INDICE DE ANEXOS.....	x
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Problema de investigación	3
1.3 Justificación	4
1.4 Objetivos	5
1.4.1 Objetivo General.....	5
1.4.2 Objetivos Específicos	5
1.5 Pregunta directriz	5
1.6 Hipótesis de tratamientos	5
CAPITULO II. REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1 Revisión de literatura	6
2.2 Residuo Orgánico.....	6
2.3 Residuo sólido urbano.....	6
2.4 Estiércol de ganado vacuno	7
2.5 Utilidad de los residuos como materia prima	7
2.6 Métodos de aprovechamiento de los residuos sólidos municipales (RSM) 8	

2.6.1	Relleno Sanitario	8
2.6.2	Pirolisis.....	9
2.6.3	Digestión anaerobia	9
2.6.3.1	Fases de la digestión anaerobia.....	10
2.6.3.1.1	Primera fase: Hidrolisis.....	10
2.6.3.1.2	Segunda fase: Acidogénesis.....	11
2.6.3.1.3	Tercera fase: Metanogénesis.....	11
2.6.4	Factores determinantes en el proceso de producción de biogás mediante digestión anaerobia	12
2.6.4.1	Naturaleza de las materias primas (residuos y estiércol)	12
2.6.4.2	Composición química de la materia prima (residuos y estiércol)	13
2.6.4.3	Relación Carbono/Nitrógeno de las materias primas.....	14
2.6.4.4	Niveles de sólidos totales y sólidos volátiles.....	15
2.6.4.4.1	Sólidos totales	15
2.6.4.4.2	Sólidos Volátiles	15
2.6.4.5	Temperatura	16
2.6.4.6	Agitación.....	17
2.6.4.7	pH.....	17
2.6.4.8	Inoculación.....	17
2.7	Marco legal	18
CAPITULO III. METODOS		19
3.1	Descripción del área de estudio	19
3.2	Métodos.....	20
3.2.1	Pesaje	20
3.2.2	Determinar las características fisicoquímicas del estiércol vacuno y de los residuos orgánicos de Pedro Moncayo.	21
3.2.2.1	Toma de muestras	22
3.2.2.1.1	Residuos orgánicos (sustrato)	22

3.2.2.1.2	Estiércol de ganado vacuno (inóculo).....	24
3.2.2.2	Determinación del porcentaje de humedad (sustrato e inóculo) 24	
3.2.2.3	Sólidos totales y sólidos volátiles (sustrato e inóculo)	27
3.2.2.3.1	Sólidos totales (ST).....	27
3.2.2.3.2	Sólidos volátiles (SV)	28
3.2.2.3.3	Sólidos fijos o cenizas (SF).....	28
3.2.2.4	pH.....	29
3.2.2.5	Temperatura	31
3.2.2.6	Contenido de carbono y nitrógeno.....	32
3.2.3	Formulación de las combinaciones entre residuo e inóculo (S/I) de acuerdo con las características sólidos totales y sólidos volátiles.....	33
3.2.3.1	Adecuación del Inóculo	33
3.2.3.2	Adecuación del sustrato	34
3.2.3.3	Ensayos de biodegradabilidad anaerobia de las mezclas Residuo orgánico-estiércol vacuno, sustrato/inóculo (S/I).....	35
3.2.3.4	Construcción del prototipo de digester Batch.....	36
3.2.4	Cuantificar la cantidad de biogás.....	37
3.2.5	Inicio del experimento	38
3.2.6	Diseño experimental	39
3.2.6.1	Hipótesis	40
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		40
4.1	Caracterización de los residuos orgánicos de Pedro Moncayo	41
4.1.1	Generación de residuos sólidos orgánicos del Cantón Pedro Moncayo.....	41
4.1.2	Características físicas del sustrato e inóculo	42
4.1.2.1	Estratificación de los residuos sólidos orgánicos.....	42
4.1.2.2	Humedad de los residuos sólidos orgánicos y del estiércol de vaca 43	
4.1.2.3	Sólidos totales, sólidos volátiles y cenizas de la fracción orgánica de residuos y del estiércol de vaca.	44

4.1.3	Características químicas del sustrato e inóculo	44
4.1.3.1	Relación carbono/nitrógeno	44
4.1.3.2	pH inicial de los residuos orgánicos de pedro Moncayo y del estiércol vacuno	45
4.1.4	Producción de biogás de la mezcla sustrato/inóculo	46
4.1.4.1	Comportamiento del pH de la mezcla utilizada en el proceso de digestión anaerobia.	46
4.1.4.2	Temperatura dentro de las unidades experimentales	47
4.1.4.3	Volumen de biogás producido	49
4.1.5	análisis estadístico	49
CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		51
5.1	Conclusiones	51
5.2	Recomendaciones.	52
REFERENCIAS.....		47
ANEXOS.....		52

INDICE DE TABLAS

CONTENIDO	Páginas
Tabla 1 Residuos Orgánicos de Distinto Origen.....	12
Tabla 2 Composición Química de los Residuos por Origen.....	14
Tabla 3 Contenido de sólidos totales de algunas materias primas.....	15
Tabla 4 <i>Rangos de temperatura y tiempo de digestión anaerobia.</i>	16
Tabla 5 <i>Métodos para análisis fisicoquímicos del sustrato e inóculo</i>	32
Tabla 6 <i>Cantidades de residuo orgánico y estiércol vacuno utilizadas en las combinaciones de S/I.</i>	39
Tabla 7 <i>Diseño experimental</i>	40
Tabla 8 <i>Generación de residuos del cantón Pedro Moncayo</i>	41
Tabla 9 <i>Estratificación de los residuos orgánicos de Pedro Moncayo</i>	42
Tabla 10 <i>Porcentaje de humedad de los residuos sólidos orgánicos y del estiércol de ganado vacuno</i>	43
Tabla 11 <i>Cantidad de ST y SV presentes en la muestra sustrato/inóculo</i>	44
Tabla 12 <i>Contenido de carbono y Nitrógeno del sustrato e inóculo</i>	45
Tabla 13 <i>Mediciones de pH en el estiércol y en residuos orgánicos antes de la operación</i>	45
Tabla 14 <i>Generación promedio de biogás</i>	50

INDICE DE FIGURAS

CONTENIDO	Páginas
Figura 1 <i>Ubicación geográfica del cantón Pedro Moncayo</i>	19
Figura 2 <i>Pesaje de los residuos orgánicos</i>	21
Figura 3 <i>Mezclado de la muestra</i>	22
Figura 4 <i>Pasos para la obtención de la muestra</i>	23
Figura 5 <i>Pesaje del sustrato e inóculo</i>	25
Figura 6 <i>Proceso para determinar el porcentaje de humedad</i>	26
Figura 7 <i>Pesaje del sustrato e inóculo</i>	27
Figura 8 <i>Secado del sustrato e inóculo</i>	28
Figura 9 <i>Mufla y desecador</i>	29
Figura 10 <i>Proceso para realizar la medición del pH</i>	30
Figura 11 <i>Tapón rosco utilizado para la extracción de muestra</i>	30
Figura 12 <i>Instrumentos utilizados para la medición de la temperatura</i>	31
Figura 13 <i>Invernadero y unidades experimentales</i>	31
Figura 14 <i>Mezcla de excretas de vaca, húmeda y seca</i>	34
Figura 15 <i>Herramienta utilizada para triturar los residuos</i>	35
Figura 16 <i>Digestor batch utilizado en la investigación</i>	36
Figura 17 <i>Esquema del digestor Batch utilizado en la experimentación</i>	37
Figura 18 <i>Esquema del sistema de medición de biogás</i>	38
Figura 19 <i>PH de la mezcla</i>	46
Figura 20 <i>Comportamiento de la temperatura en las unidades experimentales</i>	48
Figura 21 <i>Volumen de biogás producido</i>	49
Figura 22 <i>Lectura de biogás para la FORSUM + EV5%</i>	43

INDICE DE ANEXOS

CONTENIDO	Páginas
Anexo 1 <i>Registro Fotográfico</i>	50
Anexo 2 <i>Análisis elemental N°1 de las muestras sustrato para determinar el contenido de C,N, relación C/N</i>	56
Anexo 3 <i>Análisis elemental N° 2 de las muestras sustrato para determinar el contenido de C,N, relación C/N</i>	57
Anexo 4 <i>Análisis elemental N° 3 de las muestras sustrato para determinar el contenido de C, N, relación C/N</i>	58
Anexo 5 <i>Análisis elemental N° 1 de las muestras inóculo para determinar el contenido de C, N, relación C/N</i>	59
Anexo 6 <i>Análisis elemental N° 2 de las muestras inóculo para determinar el contenido de C, N, relación C/N</i>	60
Anexo 7 <i>Análisis elemental N° 3 de las muestras inóculo para determinar el contenido de C, N, relación C/N</i>	61
Anexo 8 <i>Lectura de biogás para la FORSUM</i>	62
Anexo 9 <i>Lectura de biogás para la FORSUM + EV50%</i>	63
Anexo 10 <i>Lectura de la temperatura dentro de las tres unidades experimentales (FORSUM, FORSUM +5%, FORSUM + EV50%)</i>	64
Anexo 11 <i>Lectura del pH de las tres unidades experimentales (FORSUM, FORSUM +5%, FORSUM + EV50%)</i>	65
Anexo 12 <i>Relación Carbono/Nitrógeno del sustrato e inóculo (FORSUM, Estiércol)</i> 66	66
Anexo 13 <i>Análisis de la varianza de un solo factor</i>	66
Anexo 14 <i>Promedio de cuadrados, valores de F y F crítica para comprobación de hipótesis</i>	66
Anexo 15 <i>Análisis de correlación lineal</i>	67

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS AL
MEZCLAR ESTIÉRCOL VACUNO CON RESIDUOS
ORGÁNICOS URBANOS DE PEDRO MONCAYO
MEDIANTE DIGESTIÓN ANAEROBIA

Quilumba Chorlango Brayan Armando

RESUMEN

En la actualidad por el manejo inadecuado de los residuos sólidos urbanos, se ha creado un foco de emisiones de gases de efecto invernadero compuestos predominantemente por metano proveniente de los rellenos sanitarios. Adicionalmente el agotamiento gradual de las fuentes de combustibles fósiles y la emisión de gases con CO₂ producto de la combustión ha creado la necesidad de buscar nuevas fuentes de energía no contaminantes y renovables. El presente ensayo evalúa las características fisicoquímicas de los residuos orgánicos de Pedro Moncayo, así como rendimientos de producción de biogás a partir de la combinación de estiércol de ganado vacuno con la fracción orgánica en diferentes relaciones de composición. Mediante tres prototipos “*batch test*” basado en el método del Potencial Bioquímico de Metano (PBM) para la producción de biogás mediante ensayos discontinuos o batch, en condiciones anaerobias. Los ensayos demuestran 60% de correlación entre el inóculo y el sustrato en la unidad experimental FORSUM + EV50%. Esto refleja una relación entre la producción de biogás y la mezcla sustrato inóculo.

Palabras clave: Digestión anaerobia, biogás, Composición Residuo orgánico e inóculo, BPM.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES

EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS AL MEZCLAR
ESTIÉRCOL VACUNO CON RESIDUOS ORGÁNICOS URBANOS DE
PEDRO MONCAYO MEDIANTE DIGESTIÓN ANAEROBIA

Quilumba Chorlango Brayan Armando

ABSTRACT

At present, due to the inadequate management of urban solid waste, a source of greenhouse gas emissions, composed predominantly of methane from landfills, has been created. Additionally, the gradual depletion of fossil fuel sources and the emission of gases with CO₂ from combustion has created the need to seek new non-polluting and renewable energy sources. This trial evaluates the physicochemical characteristics of Pedro Moncayo's organic waste, as well as biogas production yields from the combination of cattle manure with the organic fraction in different composition relationships. Through three prototype "batch tests" based on the Biochemical Potential of Methane (PBM) method for the production of biogas through batch or discontinuous tests, under anaerobic conditions. The tests show 60% correlation between the inoculum and the substrate in the FORSUM + EV50% experimental unit. This reflects a relationship between biogas production and the inoculum substrate mix.

Keywords: Anaerobic digestion, biogas, Organic waste and inoculum composition, BMP.

Capítulo I

Introducción

1.1 Antecedentes

En este capítulo se describe los principales problemas articulados a los residuos sólidos urbanos, generación de nichos de gases efecto invernadero y la relación con el calentamiento global. Por otra parte, se revisan los avances tecnológicos en el ámbito de las energías renovables con mención al aprovechamiento de residuos sólidos urbanos, generación de biogás y las mejoras en los procesos de funcionamiento de los rellenos sanitarios.

1.1.1 Los residuos sólidos urbanos, una vista general

El manejo inadecuado de desechos sólidos urbanos ha generado problemas en sitios de disposición final (relleno sanitario) principalmente un aumento en las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI) (Eggleston, 2006). El incremento de los residuos es a causa del rápido crecimiento de la población, desarrollo económico, industrialización y el aumento en la calidad de vida (Alwaeli, 2011).

Indudablemente existen varios impactos provenientes del residuo sólido urbano (RSU) principalmente la contaminación del aire, suelo, agua superficial y subterránea (Castrillón et al., 2004). Las regiones con mayor impacto a escala global son África Subsahariana, África del Norte, Asia central, Asia Sur, Europa Central y Naciones conformadas por pequeñas islas en América Latina como el Caribe (Bhada y Hoornweg, 2012).

1.1.2 Los residuos sólidos municipales y ganaderos en Ecuador

En Ecuador los residuos urbanos son la segunda causa de emisiones de metano y lixiviados consecuencia del manejo inadecuado de aguas residuales, tenencia de residuos sólidos en tierra y superados solo por la generación de residuos originados de la actividad agrícola (Ministerio del Ambiente [MAE], 2011). Los datos proporcionados por PNGIDS muestra una tasa de generación

anual de 0,58 kg/hab/día, a nivel nacional de 9000 ton/día que representa el 61% del sector urbano (Ambiente, 2011). Sin embargo, el servicio de recolección de basura solo alcanza al 77% de la población a nivel nacional (Instituto Nacional de Estadísticas y Censo [INEC], 2010). Por consiguiente, aún hay sitios donde la recolección no ha llegado.

El sector ganadero también influye en la producción de gases de efecto invernadero. Es así que en el procesos de crianza y faena se generan residuos como: vísceras, lixiviados y desechos como el estiércol que ocasionan problemas de contaminación ambiental, salud pública y animal. Esto implica mantener un foco de infección perjudicialmente latente para la comunidad y el ambiente (Delgado, 2011; Iván et al., 2014).

Sin embargo, el principal gas generado es el metano (CH₄) un gas con propiedades inflamables generalmente utilizado como fuente de energía. Por esta razón se fomenta el uso de la biomasa residual como una alternativa a las fuentes de energía convencionales, tanto para mitigar impactos provenientes de residuos como la obtención de energía a partir de ellos (Walsh, 2004).

1.1.3 Estudio de caso

En un estudio de caso realizado en Quito utilizaron procesos bioquímicos y termoquímicos para determinar el potencial de generación de energía a partir de RSM. Teniendo en cuenta que los residuos contienen 69.3% de materia biodegradables y 30.7% de no biodegradables. Mientras que la materia putrescible representa el 81.4% de residuos biodegradables (Moya et al., 2017). Por otra parte, el Gobierno Autónomo Descentralizado Del Cantón Pedro Moncayo con la colaboración de la Dirección de Gestión Ambiental impulsa una campaña de separación de desechos, ya que los residuos orgánicos representan el 73.32 % de la cantidad total depositada en el relleno sanitario (Meza y Olmedo, 2012).

Por esta razón, se determinó la cantidad de biogás generado de las distintas combinaciones de residuo e inóculo mediante pruebas de Potencial Bioquímico de Metano (PBM). La investigación se sustenta en el objetivo 3 de la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (2017), que estipula garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones. De acuerdo a este objetivo se definen políticas y lineamientos estratégicos con mención de conservación, patrimonio hídrico, cambio de la matriz energética, mitigación y adaptación al cambio climático, prevención de la contaminación, reducción de las vulnerabilidades y tratamiento transversal de la gestión ambiental en específico hace mención su política 3.4 que estipula la necesidad de “promover buenas prácticas que aporten a la reducción de la contaminación, la conservación, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global”.

1.2 Problema de Investigación

Actualmente el manejo y control de los residuos del Cantón Pedro Moncayo se realiza mediante la gestión del Gobierno Autónomo Descentralizado. Sin embargo, debido al crecimiento exponencial, deficiente manejo y falta de métodos de aprovechamiento de residuos se ha generado un foco de problemas, como; contaminación hacia el ambiente, cuerpos hídricos, así como también problemas de salubridad.

Agregado a esto, los gobiernos locales orientan su sistema de limpieza a cuatro simples parámetros: la producción de residuos per cápita, composición, peso específico, producción actual y futura (Castro y Vinuesa, 2012). Tampoco se toma en cuenta la necesidad de realizar un tratamiento adecuado, primando así, el costo versus el beneficio. Esto nos da una idea del poco interés ambiental que tienen los gobiernos locales. Ya que hacen caso omiso a las investigaciones que sustentan que existe una contaminación proveniente de los rellenos sanitarios.

Para contrarrestar estos problemas se desarrollan investigaciones que promueven y sustentan el uso y aprovechamiento de residuos con el fin de mejorar el funcionamiento del relleno sanitario mediante buenas prácticas ambientales y energéticas. Para esto se implementan métodos biodegradables como la digestión anaerobia que inicia con la transformación química, física y biológica del residuo a través de la acción de microorganismos que degradan la materia de manera anaerobia. Considerando el aspecto técnico, se dice que la degradación del residuo y la producción de biogás depende de varios parámetros principalmente el pH, temperatura y mezcla relacionados al sustrato e inóculo (Hernández et al., 2006).

1.3 Justificación

A medida que la población crece la demanda de energía aumenta. En consecuencia, existe un crecimiento del consumo de combustibles fósiles que incrementan las emisiones de gases de efecto invernadero debido a la extracción, producción, transporte y consumo de energía (Bulege, 2013).

La implementación de un sistema de producción de biogás puede ser una alternativa viable que contrarreste los problemas de residuos, al mismo tiempo brinda de beneficios económicos y ambientales a quienes lo utilicen. Se debe mencionar que la producción aumenta si se agrega un inóculo ya que mejora la estabilidad de los microorganismos metanogénicos (Hernández, 2015) todo esto con menos emisiones y menores costos económicos (Chester y Elliot, 2019).

El objetivo de esta investigación implica como eje principal la evaluación de la producción de biogás resultado de la combinación de estiércol vacuno con residuos orgánicos de Pedro Moncayo. La información generada puede ser utilizada como una guía para contrarrestar los efectos negativos presentes en el relleno sanitario.

Dada esta alternativa el presente proyecto se sustenta de acuerdo a Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, (2017). Que estipula en su

objetivo 3, el garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones. De acuerdo con este objetivo se definen políticas y lineamientos estratégicos con mención de conservación, patrimonio hídrico, cambio de la matriz energética, mitigación y adaptación al cambio climático, prevención de la contaminación, reducción de las vulnerabilidades y tratamiento transversal de la gestión ambiental.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- ✓ Evaluar la producción de biogás al mezclar estiércol vacuno con residuos orgánicos urbanos de Pedro Moncayo

1.4.2 Objetivos Específicos

- ✓ Determinar las características fisicoquímicas del estiércol vacuno y de los residuos orgánicos de Pedro Moncayo.
- ✓ Establecer las posibles combinaciones entre residuo e inóculo de acuerdo con las características sólidos totales y sólidos volátiles.
- ✓ Cuantificar la cantidad de biogás producido mediante digestión anaerobia de la mezcla de residuos orgánicos con estiércol vacuno.

1.5 Pregunta directriz

- ✓ ¿La mezcla de estiércol vacuno como inóculo más el componente orgánico de los residuos urbanos de Pedro Moncayo permite una mayor generación de biogás?

1.6 Hipótesis de tratamientos

➤ **Hipótesis Nula:** H_0

Los tratamientos aplicados son iguales (**H_0** : $T_1 = T_2 = T_3$)

➤ **Hipótesis alternativa:** H_1

Los tratamientos aplicados presentan diferencia (**H_1** = $T_1 \neq T_2 \neq T_3$)

Capítulo II

Marco teórico

En este apartado se revisan aspectos relevantes sobre el tema investigado. Como la conceptualización de los residuos orgánicos, medios de aprovechamientos, principales variables y su influencia en los microorganismos descomponedores responsables de la generación de biogás.

2.1 Residuo Orgánico

El origen de los residuos orgánicos es fundamentalmente biológico (vegetal y animal) y son susceptibles a degradarse por el metabolismo de los microorganismos descomponedores. Los elementos abundantes en las sustancias orgánicas son el carbono (C), hidrogeno (H) y oxígeno (O) y en menor cantidad el nitrógeno (N), fosforo (P) y potasio (K). Toda la materia orgánica representa del 95 al 99 % de la materia seca que conforman los seres vivos (Mustin, 1987).

2.2 Residuo sólido urbano

Según Eggleston (2006) los residuos sólidos urbanos se definen como desechos recolectados por municipalidades u otras autoridades locales, correspondientes a: desechos domésticos, jardines, parques, comercios e instituciones. La composición varía dependiendo la región, ciudad y hábitos de consumo (Adhikari et al., 2018). La reutilización con fines energéticos es una práctica común en países desarrollados.

Todo material que se pueda degradar (desechos bovinos, avícolas, porcinos, urbanos entre otras) tienen potencial para producir biogás bajo ciertas condiciones (Adhikari et al., 2018). La composición de RSU generados en Quito contienen un 69.31% de desechos orgánicos y 30,69% de inorgánicos. El 81% es desecho putrescible y 19% no contaminable. Estos datos ilustran que los RSU de Quito tienen un alto potencial para la generación de biogás y energía térmica (Moya et al., 2017) .

2.3 Estiércol de ganado vacuno

Residuo alimentario no utilizado por el rumiante, en la etapa fermentativa sintetiza una considerable cantidad de proteína junto con una porción de energía que no es aprovechada (Smcs, 1987). Sin embargo, la libre disposición de las excretas de ganado y un tratamiento inadecuado lo convierten en un foco de contaminación ambiental e infecciones que propicia el desarrollo de vectores de enfermedades (Liriano, 2005).

En la agricultura tradicional se utiliza estiércol como fertilizante. En ocasiones el estiércol utilizado es fresco sin embargo esta práctica no es recomendable ya que existe un peligro potencial de contaminación del manto freático, cuerpos de agua por infiltración de materia orgánica (Vázquez et al., 2000). La composición varía según especie, raza, edad y alimentación (Cárdenas , 2012; Pordomingo, 2009). Algunos estudios reportan la siguiente composición química 2-8% de N, 0.2-1% P, 1-3% de K, 1-1.5% de Mg, 1-3% de sodio y 6-15% de sales solubles (Aguilar et al., sf).

2.4 Utilidad de los residuos como materia prima

La biomasa con fines energéticos es definida como el material orgánico producido por plantas y animales que tras un proceso de conversión se utiliza como combustible (Jiménez, 2014). En las últimas décadas han realizado estudios que comprueban la efectividad de residuos como una fuente de biomasa para energía. Sin embargo, muchos desechos orgánicos no cumplen con una función específica tras elaborar un producto por lo que son desechados y en otros casos suelen servir de alimento para animales (Cóndor y Katherine, 2018).

Por otra parte, se valoriza la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos con métodos como: compostaje, lumbricultura, digestión anaerobia para reducir la cantidad de residuos que se disponen y lograr obtener subproductos útiles, tales como compost, vermicompost, biogás y biosólido que implican impactos positivos para el medio ambiente y la economía (Espinosa et al., 2007). Macias

et al (2008), nos dice que los residuos orgánicos tienen potencial de liberar 50 a 110 m³ de dióxido de carbono y 90 a 140 m³ de metano un gas combustible desaprovechado.

En la actualidad existen varios métodos de transformación de residuos orgánicos en energía, para alcanzar la conservación de recursos y del ambiente. Uno de los métodos de aprovechamiento de residuos es la digestión anaerobia (Alcalde et al., 2013). Anualmente se generan gran cantidad de residuos orgánicos que pueden ser aprovechados como materia prima. Es necesario realizar pruebas de biodegradabilidad en el sustrato para una producción de biogas a gran escala (González et al., 2015).

Según Varnero (2011) los residuos que se pueden utilizar en un sistema de digestión anaerobia son: Residuo de origen animal como purín de vacunos, cerdos, pavos, pollos, etc., camas de aves, desechos de matadero (sangre, vísceras), desperdicios de pesca, restos de lana y cuero, desechos de establos (estiércol, orina y paja).

Así como residuos de cosechas: rastrojo, ensilaje y grano de maíz u otros cultivos, malezas, paja, maloja de caña de azúcar. También suelen ser utilizados residuos agroindustriales: tortas de oleaginosas, bagazo, salvado de arroz, desechos de tabaco, semillas, desperdicios de procesamiento de hortalizas y frutas, residuos de té, pequeñas ramas, hojas, corteza, etc.

2.5 Métodos de aprovechamiento de los residuos sólidos municipales (RSM)

2.5.1 Relleno Sanitario

El relleno sanitario es el método más común para eliminar residuos sólidos especialmente en países en vías de desarrollo (Xu et al., 2014). El principal factor beneficioso es la generación de gas metano que tiene potencial energético y otras ventajas respecto a fuentes de energía convencionales (Thomas y Soren, 2018).

El método consiste en colocar material de desecho para su compactación hasta alcanzar un volumen más pequeño que se ubicará dentro del área menos expuesta para cubrirlo con tierra. El área de la superficie será más pequeña debido a la reducción de la materia (Rao et al., 2017).

2.5.2 Incineración

La energía en forma de calor es abundante dentro de un incinerador. Teniendo en cuenta que los incineradores tradicionales alcanzan eficiencias de conversión de calor en 20 a 30%, el calor disipado podría ser aprovechado para la escisión directa de residuos de ceniza y la producción de cementos derivados de residuos (Ghouleh y Shao, 2018) .

Entre las numerosas ventajas está la reducción del volumen y la masa en 90% y un 75%, respectivamente (Lino y Ismail, 2018). Sin embargo, las emisiones del incinerador pueden producir una gran variedad de contaminantes como metales pesados, dioxinas y furanos que son perjudiciales para la salud humana (Abdul y Saleh, 2017).

2.5.3 Pirolisis

La pirolisis es la conversión de biomasa (específicamente los RSU) en fracciones líquidas (biocombustibles), sólidas, gaseosas y en ausencia de aire. Los principales productos son gases, bio-aceite y carbón. La razón para adoptarla en lugar de la gasificación, combustión o incineración es la producción de bio-petróleo, así como el gas de síntesis y carbón como subproductos (Sipra et al., 2018).

2.5.4 Digestión anaerobia

Es un proceso para obtener biogás. Ocurre a través de una serie de etapas en ausencia de oxígeno (proceso anaeróbico). La primera etapa es la hidrolisis, ahí se encuentran las bacterias fermentativas, próximamente se presenta la acidogénesis y acetogénesis, para dar paso a la fase final denominada metanogénesis esto nos lleva a formar metano (Themelis y Ulloa, 2007).

La función principal del tratamiento previo es clasificar, separar, esterilizar y reducir el tamaño de RSU. Esto contrasta con los residuos lignocelulósicos cuyo objetivo es mejorar la etapa de hidrólisis (Fan et al., 2018). Así el biogás generado se utiliza como una fuente de calor para producir electricidad y combustibles. En otro sentido debe ser drenado y usado con fines energéticos por su alto poder calorífico 18–22 MJ/m³. Y dependerá de una serie de factores, que incluyen la composición, humedad, temperatura y las condiciones de operación (Amini et al., 2012).

2.5.4.1 Fases de la digestión anaerobia

La digestión anaerobia se divide en tres fases. En cada una intervienen grandes poblaciones de microorganismos encargados del proceso de degradación. Estos seres componen poblaciones con diferente velocidad de crecimiento, sensibles a los cambios en los compuestos inhibidores (ácido acético, amoníaco, H₂) (Hilbert, 2003). Es necesario evitar cualquier acumulación de compuestos inhibidores que afecten a la temperatura y pH del sustrato. De esto dependerá la velocidad de reacción, estabilidad y correcto desarrollo de los microorganismos en cada una de las etapas del proceso (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía [IDAE], (2007)).

2.5.4.1.1 Primera fase: Hidrolisis.

La fase de hidrolisis se produce cuando se origina la degradación en los sustratos orgánicos complejos (Varnero, 2011). La velocidad global del proceso puede estar limitado por la etapa hidrolítica, ya que afecta a residuos con alto contenido de sólidos. El tamaño de la partícula influye directamente en el proceso de digestión anaerobia (Hajji y Rhachi, 2013).

Si el sustrato contiene materia orgánica polimérica, no podrá ser degradada directamente por las bacterias. Es necesario pasar por un proceso en el cual se transformen en compuestos solubles. Esto permite atravesar la pared celular y descomponer la materia orgánica compleja, con la finalidad de que los

microorganismos puedan utilizarlos como fuente de alimento (Ortega, 2019). Los sustratos orgánicos complejos (proteínas, lípidos, ácido nucleico y polisacáridos) se descomponen biológicamente y se transforman en moléculas más pequeñas (monómeros y dímeros) (Huertas, 2015).

2.5.4.1.2 Segunda fase: Acidogénesis.

En la fase de acidogénesis los aminoácidos, ácidos grasos y azúcares simples se transforman en alcoholes y ácidos orgánicos de cadena corta. Ya que las bacterias acetogénicas oxidan las endoenzimas generadas por las bacterias que forman ácidos (Huertas, 2015).

La presencia de este grupo de bacterias juega un papel importante ya que ellas producen el alimento que ayuda al desarrollo del siguiente grupo de bacterias y a su vez eliminan toda traza de oxígeno disuelto en el sistema. Esto evita problemas posteriores ya que el grupo de microorganismos está compuesto por bacterias anaeróbicas denominadas formadoras de ácidos (Dominguez y Ly, 2000).

2.5.4.1.3 Tercera fase: Metanogénesis.

La metanogénesis es la última fase del proceso y es donde las bacterias anaeróbicas han actuado sobre los productos resultantes. Debemos considerar a los microorganismos metanogénicos de mayor importancia ya que son los responsables de la generación de metano (Ramos et al., 2007).

La formación del biogás, explícitamente CH_4 , se encuentra en dos etapas. La etapa acetoclástica que forma alrededor del 70% de metano. Debido a que los microorganismos crecen en sustratos como acetato, metanol y algunas aminas. Mientras que la etapa hidrogenotrófica los microorganismos crecen en sustratos como H_2/CO_2 y fórmicos aportando alrededor del 20 al 30% de metano (Corrales et al., 2015). El valor energético se encuentra al producir una gran cantidad de biogás con un alto contenido de metano.

2.5.5 Factores determinantes en el proceso de producción de biogás mediante digestión anaerobia

Existen factores muy importantes a la hora de examinar la digestión anaerobia. Ya que los microorganismos descomponedores son susceptibles a los cambios en su entorno. La mayoría de los investigadores evalúan el desempeño de un sistema anaerobio por medio de la cuantificación del metano producido. Por esta razón es de vital importancia monitorear las condiciones y variables como; temperatura, materia prima, pH, nutrientes y su concentración.

2.5.5.1 Naturaleza de las materias primas (residuos y estiércol)

Existen diversas materias primas utilizadas para la fermentación metanogénica como; residuos orgánicos de origen, vegetal, animal, agroindustrial, forestal, domésticos entre otros. Los residuos comúnmente utilizados se los presenta en la tabla 1.

Tabla 1

Residuos Orgánicos de Distinto Origen

Residuos de origen animal	estiércol, orina, guano, residuos de mataderos (sangre u otros), residuos de pescados.
Residuos de origen vegetal	malezas, rastrojos de cosecha, pajas, forraje en mal estado.
Residuos de origen humano	heces, basura, orina
Residuos agroindustriales	salvado de arroz, orujos, cosetas, melazas, residuos de semilla
Residuos forestales	hojas, vástagos, ramas y cortezas

Nota: Origen de los principales residuos utilizados en la generación de biogás.

Tomado de Varnero y Arellano, 1991.

Debido al desarrollo de la actividad microbiana el sistema anaeróbico depende directamente de las características bioquímicas de la materia prima. Las fuentes de Carbono y Nitrógeno son necesarias para el proceso. De igual manera es necesaria la existencia de cierto equilibrio entre sales minerales

(azufre, fosforo, potasio, hierro y magnesio) para tener un correcto desarrollo de microorganismos.

El estiércol y lodos cloacales proporcionan un correcto equilibrio de elementos. Sin embargo, existen casos que es necesario la adición de ciertos compuestos o bien un post tratamiento aeróbico. Como es el caso de los residuos industriales, el cual se debe someter a tratamientos previos (cortado, macerado, compostaje) las sustancias que tienen alto contenido de lignina con el fin de liberarlas. En cambio, la degradación del estiércol dependerá del tipo de animal y alimentación. Debido al sin número de factores que pueden intervenir en el proceso. Esto provoca que sea difícil la comparación de resultados.

2.5.5.2 Composición química de la materia prima (residuos y estiércol)

El contenido de agua en residuos varía de 10 al 90% del peso fresco. La composición orgánica varía de acuerdo con la edad, forma de obtención, contenido de agua y cenizas. Esto corresponde al 50% del peso fresco. En cambio, la composición promedio de materia seca es 48% Carbono (C); 44% oxígeno (O); 7% hidrógeno (H); 2% Nitrógeno (N). Mientras que los minerales como calcio (Ca), potasio (K), magnesio (Mg), fósforo (P), azufre (S) varían del 1 al 10% del peso seco. En la tabla 2 se observa la composición de algunas materias primas que se utilizan en la digestión anaerobia.

Tabla 2*Composición Química de los Residuos por Origen*

Tipo	Clasificación	Carbono (%)	Nitrógeno (%)	Relación	Fuente
Origen animal	Estiércol vacuno	30	1.3	25:10	libro biogás
	Estiércol porcino	25	1.50	16:1	
	Estiércol aves	35	1.50	23:1	
Origen de usos humano	Residuos orgánicos SM	71.2	1.82	20:1	Libro rsu
	Residuos orgánicos SPO	85.2	2.65	17:1	

Nota: Principales residuos utilizados en la generación de biogás. Tomado de Varnero y Arellano, 1991. SM: Separado mecánicamente; SPO: Separado por origen

2.5.5.3 Relación Carbono/Nitrógeno de las materias primas

Existe una amplia variedad de criterios sobre la relación C/N más adecuada. Puesto que existe una directa relación entre materia orgánica y disponibilidad de macronutrientes sobre la producción de biogás. Es decir que la cantidad y la calidad de biogás dependerá de la composición y la naturaleza del residuo (Varnero, 2012). La fuente de energía que ayuda al desarrollo de las metanobacterias es carbono.

Mientras que el nitrógeno ayuda a la formación de nuevas células, ya que necesitan de grandes cantidades de energía para crecer, las bacterias metanogénicas consumen 30 veces más Carbono que Nitrógeno. Por lo que la relación optima vendría a ser 30:1 o 20:1. Sin embargo, si existe una gran cantidad de carbono superior a 35:1 la descomposición de la materia orgánica se ralentizará, la reproducción de los microorganismos baja. Por otra parte, una relación C/N menor a 8:1 provoca la formación de amonio. En grandes cantidades es toxico para la actividad microbiana llegando incluso a inhibirla (Varnero, 2012). En la tabla 2 se puede observar la relación C/N presentes en algunos residuos.

2.5.5.4 Niveles de sólidos totales y sólidos volátiles

2.5.5.4.1 Sólidos totales

Los sólidos totales son un factor importante que considerar. De ellos depende la movilidad de las bacterias metanogénicas. Por esta razón la producción de biogás disminuye conforme se aumenta la cantidad de sólidos. Es necesario conocer el porcentaje de sólidos totales de la materia prima para determinar el volumen de agua que se utiliza en la mezcla (Varnero, 2011). En la tabla 3 se presenta el contenido de sólidos totales presentes en algunos residuos.

Tabla 3

Contenido de sólidos totales de algunas materias primas.

Materias Primas	% Sólidos Totales
Residuos Animales	
Bovinos	13.4 - 56.2
Porcinos	15.0 - 49.0
Conejos	34.6 - 90.8
Residuos Vegetales	
Hojas Secas	50.0
Tubérculos (hojas)	10.0 - 20.0
Residuos sólidos	
FORSM	32.3

Nota: Principales residuos utilizados en la generación de biogás. Tomado de Varnero y Arellano, 1991.

2.5.5.4.2 Sólidos Volátiles

El contenido de Sólidos Volátiles (SV) define cuanto biogás se genera por fracción de residuo orgánico (Avendaño, 2010). Cerca del 70 al 90% de sólidos totales son volátiles, es decir que toda la materia orgánica volátil se transforma en biogás. Los residuos inferiores al 60% de SV no son buena opción como materia prima (Shao, 2011). Por esta razón la degradación de ST y SV indica si el proceso de digestión anaerobia es eficiente o no.

2.5.5.5 *Temperatura*

La temperatura es uno de los principales parámetros de operación ya que la velocidad de degradación dependerá de la reproducción de microorganismos y esta a su vez crecerá si la temperatura aumenta. Como consecuencia mayor producción de biogás y una variación brusca puede desestabilizar el proceso. Con un controlador de temperatura y un adecuado sistema de agitación se puede prevenir inconvenientes.

Las temperaturas de operación varían según el rango y se pueden nombrar de acuerdo con su fase: psicrófilo, mesófilo y termófilo. Gran parte de las metanobacterias se desarrollan en un ambiente mesofílico (25-35 °C), mientras que una pequeña cantidad se desarrollan a temperaturas termofílicas (50-60 °C) (Avendaño, 2010). En la tabla 4 se puede observar distintos rangos de temperatura y tiempo de degradación.

Tabla 4

Rangos de temperatura y tiempo de digestión anaerobia.

Temperatura	Mínimo (°C)	Óptimo (°C)	Máximo (°C)	Tiempo de digestión
Psicrofílica	4 - 10	15 - 18	20 - 25	sobre 100 días
mesofílica	15 - 20	25 - 35	35 - 45	30 - 60 días
termofílica	25 - 45	50 - 60	75 - 80	10 - 15 días

Nota: Principales temperaturas de operación de digestores. Tomado de Varnero y Arellano, 1991.

Debido a la influencia de temperatura en la velocidad de degradación se necesita prestar especial atención al momento de entrar en operación. Ya que de ello dependerá el tiempo que se demora el experimento (Ahn, 2010). Hay que intentar en lo posible, controlar la temperatura debido a que la producción de biogás disminuye en 30% si presenta variaciones de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ (Avendaño, 2010).

2.5.5.6 *Agitación*

La agitación es la mejor manera de optimizar el proceso. Todo esto se lleva a cabo de manera eficiente, cuidadosa ya que el resultado final dependerá de cómo se lo realice (Deublein y Steinhauser 2008). Existen dos parámetros que determinan el grado de mezcla. Estos son: el tiempo de volteo y el tiempo de dispersión. El primer parámetro describe cuanto se tarda el volumen de mezclado en recircular al digestor, el segundo es cuanto se tarda la mezcla en alcanzar una concentración de equilibrio. La agitación se puede realizar de distintas formas ya sea de manera manual, mecánica, hidráulica o neumática. El uso depende de la necesidad y en algunos casos no se requiere. Se recomienda utilizar digestores que operen con gran cantidad de sólidos (Carrillo, 2004).

2.5.5.7 *pH*

El pH es un factor que influye en el crecimiento de microorganismos anaerobios. Valores cercanos a la neutralidad (6.7 - 7.5) aseguran un correcto desarrollo. Cuando los valores de pH aumentan por sobre 8.3 o descienden a 6, suele existir problemas de desarrollo. Este valor define tanto la producción como la composición del biogás (Veyna, 2007).

Un valor menor a un pH de 6 produce un biogás muy pobre en metano y se reduce su interés energético. Las bacterias metanogénicas son muy susceptibles a cambios por sobre la neutralidad. Mientras que las acetogénicas suelen tolerar cambios más extremos. Las variaciones pueden ser reversibles, dependiendo de cuánto dura la alteración (Avendaño, 2010).

2.5.5.8 *Inoculación*

Se pueden describir tres etapas en el crecimiento bacteriano. En la primera etapa los microorganismos no se adaptan al medio, su reproducción es baja. Es de vital importancia adecuar su habitat a valores cercanos a los recomendados por la literatura.

La segunda etapa es la estabilización y sucede una vez que las bacterias se adaptan y empiezan a degradar la biomasa viable. Se empieza a generar y acumular el biogás. Al alcanzar rápidamente esta etapa se puede incrementar la producción por kg de inóculo agregado. Si se utiliza estiércol se toma en cuenta la edad y la proporción a agregar. Ya que a mayor proporción y menor edad la eficacia aumenta (Loaiza, 2007).

La última etapa es la declinación de microorganismos, aquí han alcanzado su pico máximo de desarrollo. El alimento empieza a escasear y se origina un descenso en la reproducción. Esto provoca una disminución de la población como consecuencia la reducción de la producción de biogás (Loaiza, 2007). El estiércol de vaca y lodos anaerobios son recomendables como inóculo. También se utilizan otros lodos como: domésticos, gallinaza o estiércol de cerdo.

2.6 Marco legal

La presente investigación tiene su sustento de acuerdo con las herramientas legales como la Constitución de la República del Ecuador de 2008, la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (LOSPEE), Reglamento Ambiental para Actividades Eléctricas (RAAE).

2.6.1 Constitución de la República

La investigación contribuirá al desarrollo de tecnologías ambientalmente limpias y fuentes de energías renovables indicadas en los Artículos 15, 72 y 413. Ya que apunta a la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas.

2.6.2 Plan Nacional del desarrollo 2017- 2021

También se basa en el Objetivo 3 que estipula garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones y en su política 3.4 que habla del promover buenas prácticas que aporten a la reducción de contaminación, conservación, mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático.

Capítulo III

Marco metodológico

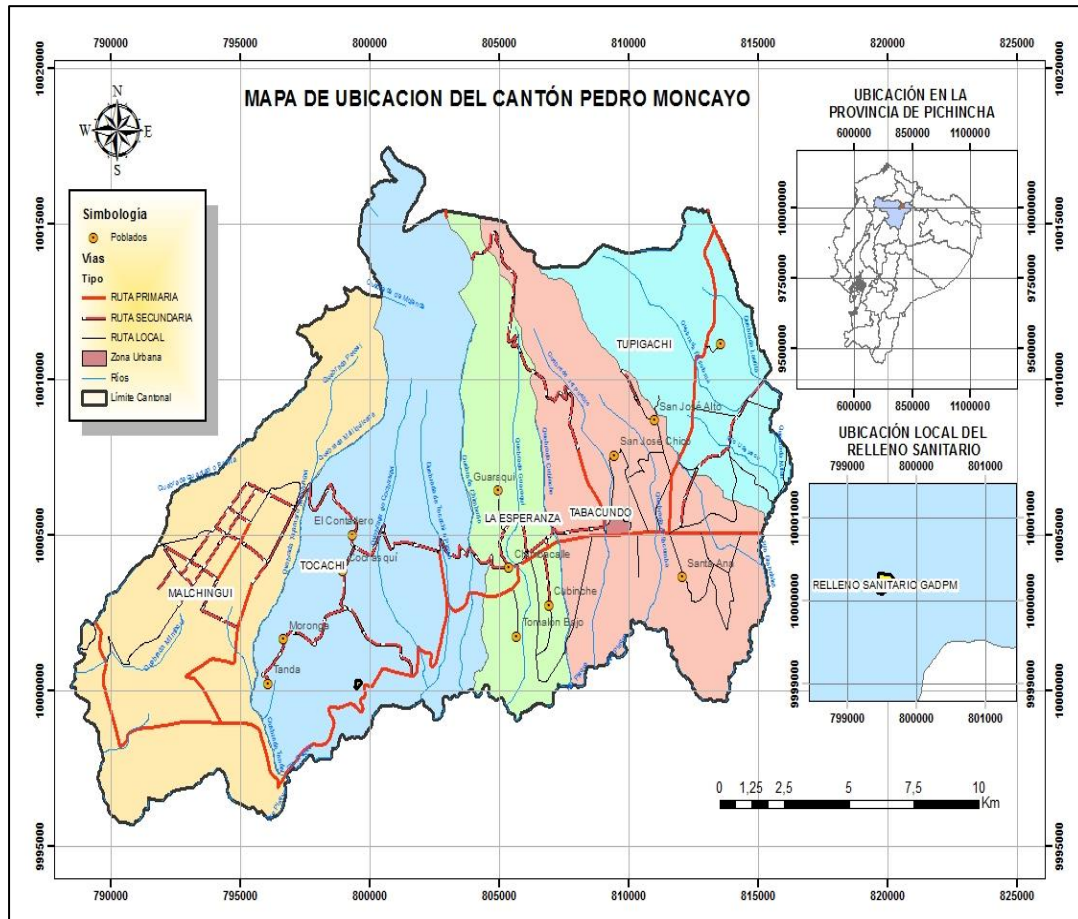
En este apartado se describen métodos, pasos y cálculos estadísticos que permitieron cumplir con los objetivos planteados en la investigación, así como los materiales y herramientas utilizadas en el desarrollo investigativo.

3.1 Descripción del área de estudio

Pedro Moncayo es uno de 8 cantones que conforman la provincia de Pichincha. Se encuentra localizado en las coordenadas UTM: X: 809801; Y: 10004915 17S. Está constituido por 4 parroquias rurales: Tupigachi, La esperanza, Tocachi, Malchingui y por la Cabecera Cantonal la parroquia de Tabacundo. Además, el cantón posee una superficie de 33 831 km². Sus límites políticos son al Norte: Cantón Otavalo en la Provincia de Imbabura, Sur: Distrito Metropolitano de Quito y Cantón Cayambe, Este: Cantón Cayambe, Oeste: Distrito Metropolitano de Quito (Meza, 2012).

Figura 1

Ubicación geográfica del cantón Pedro Moncayo



Nota: Mapa base del cantón Pedro Moncayo, realizado en el programa ArcGIS.

3.2 Métodos

3.2.1 Pesaje

La recolección de residuos orgánicos en el cantón Pedro Moncayo se realiza los lunes, miércoles y viernes durante todo el año. El pesaje se realizó durante la semana del 16 al 30 de septiembre y durante el 2 al 6 de octubre. Se procedió a pesar el camión que ingresaba lleno y una vez se depositan los residuos en su lugar se vuelve a pesar el camión vacío como se presenta en la figura 1.

Figura 2

Pesaje de los residuos orgánicos



Se determinó la generación de residuos sólidos con el método planteado por el Segundo Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos (Fonseca et al., 2009) que se presenta en la ecuación 1.

$$\rho_{rso} = \frac{P_{\text{neto de los residuos}}}{V_{\text{en m3 contenedor}}} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

ρ_{rso} : densidad volumétrica de los residuos orgánicos compactados

P_{residuo} : Peso neto del residuo orgánico

$V_{\text{contenedor}}$: volumen de contenedor

3.2.2 Determinar las características fisicoquímicas del estiércol vacuno y de los residuos orgánicos de Pedro Moncayo

En la caracterización física y química de residuos sólidos urbanos y estiércol vacuno, se tomó en cuenta aspectos como: la humedad, ph, sólidos totales, sólidos volátiles, contenido de carbono y nitrógeno para la muestra e inóculo.

3.2.2.1 Toma de muestras

Se debió determinar si la materia prima es idónea para realizar las pruebas. Se necesitó adquirir pequeñas proporciones de muestra para el análisis físico y químico. Los pasos seguidos se detallan continuación.

3.2.2.1.1 Residuos orgánicos (sustrato)

Se extrajo muestras de residuo orgánico provenientes del Relleno Sanitario de Pedro Moncayo. Las muestras fueron recolectadas martes y jueves, días de recolección de materia orgánica. Para mejores resultados se homogenizó el sustrato con la mezcla de residuos recolectados en días anteriores.

Se basó en la metodología de cuarteo propuesta por (Secofi, 1985) y se procedió a romper bolsas de plástico que contenían RSO, luego se procedió a mezclarlos procurando uniformidad en la muestra. Para evitar la contaminación con tierra se utilizó una superficie de plástico de 4 m² como lo muestra la figura 3.

Figura 3

Mezclado de la muestra



Una vez homogenizada la muestra se procedió a dividir en cuatro partes iguales, la parte A y D fueron descartadas. Todos los pasos se repitieron hasta llegar a una muestra de 5 kg como lo muestra la figura 3. La materia orgánica se trasladó hacia las instalaciones de la Universidad Politécnica Nacional para las pruebas de laboratorio. Se procedió a pesar, etiquetar y a realizar la caracterización manual dividiendo los residuos orgánicos en 6 estratos principales: residuo de comida, frutas, verduras, restos de poda, residuos amiláceos. Los datos obtenidos se presentan en el capítulo de resultados en la tabla 4.

Figura 4

Pasos para la obtención de la muestra



Para la estratificación de los residuos se basó en la metodología de cuarteo propuesta por Secofi, (1985) y también se llevó a cabo el método de cuarteo para residuos sólidos municipales. Para aquellos residuos sólidos de características homogéneas, no se requiere seguir el procedimiento descrito en esta norma MEXICANA NMX-AA-22-1985

3.2.2.1.2 Estiércol de ganado vacuno (inóculo)

Se extrajo muestras de este estiércol fresco proveniente de Establo Lechero de la Fundación Bretren y Unida. Las muestras fueron recolectadas un día antes de la experimentación. Fue necesario adquirir estiércol seco y fresco para homogenizar la muestra. Se dividió el terreno en cuatro partes y se realizó un recorrido en zigzag para cubrir toda el área del terreno y obtener una muestra homogénea (Chiriboga, 2010).

Una vez homogenizado se almacenó 5 kg en una doble bolsa de fibra de plástico ziploc, se procedió a hermetizar la muestra para evitar pérdidas en las propiedades del inóculo, procurando expulsar todo el aire dentro de la bolsa. Luego se trasladó al sitio de experimentación, se almaceno a 4 °C, Para posteriormente realizar el secado en el laboratorio de investigaciones ambientales (LABINAM) de la Universidad Técnica del Norte.

3.2.2.2 Determinación del porcentaje de humedad (sustrato e inóculo)

Para determinar el porcentaje de humedad del sustrato e inóculo se basó en la metodología establecida por (Cantanhede et al., 2005). Una vez realizado el muestreo se procedió triturar manualmente las dos muestras por separado, hasta un tamaño de partícula de 0,5 cm, se tomaron dos muestras homogéneas con un peso total de 200 gr cada una como se muestra en la figura 5.

Figura 5

Pesaje del sustrato e inóculo

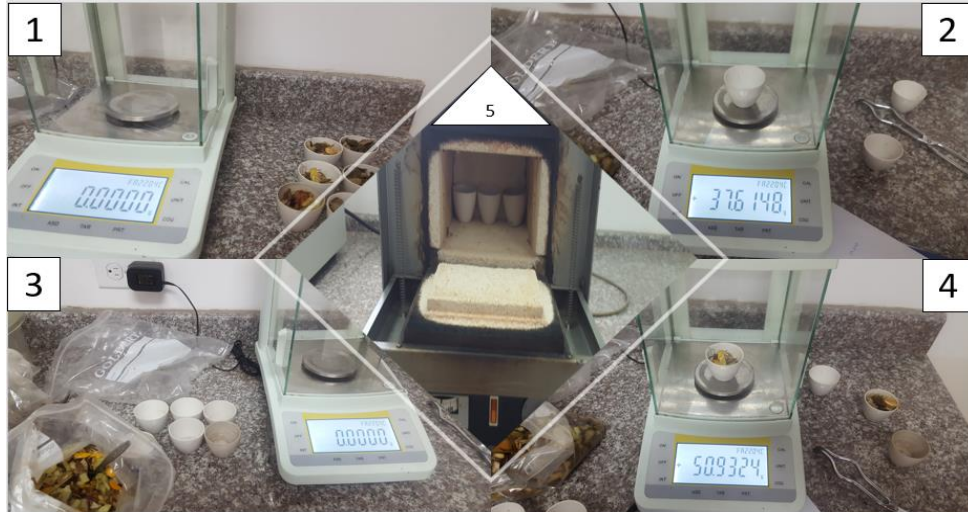


Una vez obtenida la muestra se colocaron 50 g en unos crisoles que fueron sometidos a un proceso de secado por 30 minutos para evaporar el agua higroscópica. Con mucho cuidado se colocaron los crisoles en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente.

Se pesó los crisoles vacíos posteriormente los recipientes más la muestra orgánica húmeda y a continuación se anotó las cifras y se procedió a ingresar en la estufa a una temperatura de 105 °C (APHA, 1915) hasta alcanzar un peso constante como lo muestra la figura 6.

Figura 6

Proceso para determinar el porcentaje de humedad



Una vez alcanzado un peso constante se procedió a retirar los recipientes de la estufa y se pesaron nuevamente, anotando las cifras con dos decimales. Teniendo los datos de peso de la muestra en seco y húmedo se procedió a utilizar la ecuación 2.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{A-B}{A-C} * 100 \quad (\text{Ec } 2)$$

Donde:

A = Peso del crisol más la muestra húmeda (g).

B = Peso del crisol más la muestra seca (g).

C = Peso del crisol (g).

Se determinó el porcentaje de humedad existente pesando la cantidad de agua presente en el residuo con la ayuda del principio de pérdida de peso por calentamiento, siguiendo el Método utilizado por (Díaz y Cárcamo, 2017).

3.2.2.3 *Sólidos totales y sólidos volátiles (sustrato e inóculo)*

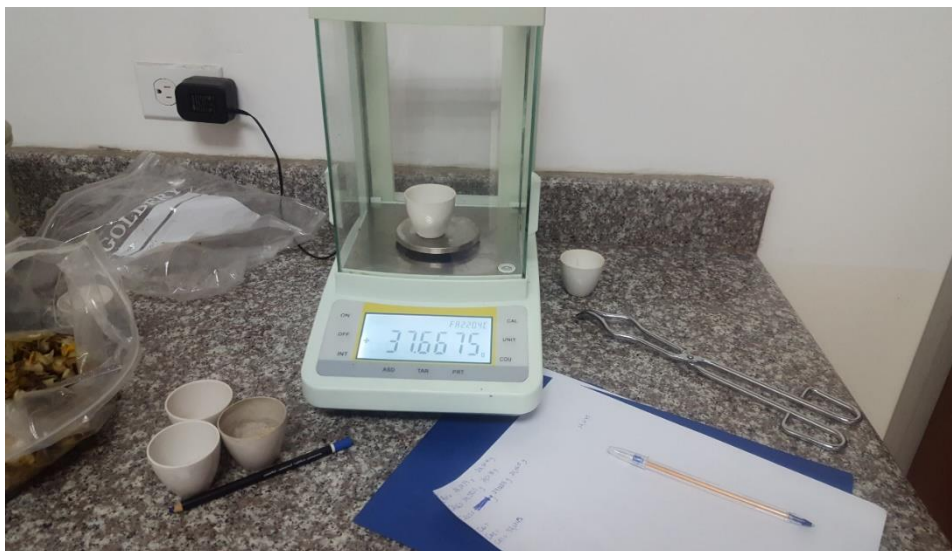
Para el cálculo de sólidos totales, volátiles y fijos se siguió con la metodología planteada por (American Public Health Association [APHA], 1915). Para lo cual se utilizaron de varios insumos como: Capsulas de porcelana, estufa, mufla, desecador, balanza analítica. Los insumos fueron obtenidos del Laboratorio de Físicoquímica y Microbiología de la Universidad Técnica del Norte.

3.2.2.3.1 *Sólidos totales (ST)*

Una vez obtenido los insumos se procedió a la adecuación de crisoles. Se sometieron a una fuente de temperatura (estufa) que alcanzó 105 °C durante 30 minutos para evaporar toda el agua higroscópica. Luego se procedió a ingresarlos al desecador para alcanzar una temperatura ambiente, después se pesó los recipientes vacíos, anotando las cifras obtenidas. Se agregó 50 g de sustrato e inóculo en tres recipientes y se tomó el peso exacto con la ayuda de una balanza analítica presentada en la figura 7.

Figura 7

Pesaje del sustrato e inóculo



Los sólidos totales se calcularon por el método gravimétrico planteado por (APHA, 1915). Los residuos fueron puestos a una temperatura de 105 °C en una estufa, durante 24 horas, para luego ser pesado como se muestra en la figura 8.

Figura 8

Secado del sustrato e inóculo



La fórmula utilizada para calcular los sólidos totales se expresa en la ecuación 3.

$$ST = \frac{A-B}{c} \quad (\text{Ec 3.})$$

Donde: A: Peso del crisol + muestra seca; B: Peso del crisol vacío; C: Peso muestra seca

3.2.2.3.2 Sólidos volátiles (SV)

Resultan de la diferencia entre sólidos totales menos sólidos fijos. La fórmula utilizada se expresa en la ecuación 4.

$$SV = ST - Sf \quad (\text{Ec 4.})$$

3.2.2.3.3 Sólidos fijos o cenizas (SF)

Se calcularon al someter la muestra de sólidos totales a incineración en una mufla. El sustrato e inóculo se sometió a una temperatura de 550°C, como se muestra en la figura 9.

Figura 9

Mufla y desecador



Para calcular los sólidos fijos o cenizas se toma el peso del crisol a los 550 °C y se resta del crisol vacío. El resultado se divide para el volumen de la muestra y se expresa en la siguiente ecuación.

$$SF = \frac{\text{Crisol a } 550\text{ }^{\circ}\text{C} - \text{Crisol Vacío}}{\text{Volumen de la muestra}} \quad (\text{Ec } 5.)$$

3.2.2.4 pH

La medición del pH se realizó en la etapa de caracterización al inicio, durante y al final del proceso de digestión. Como las pruebas se utilizaron con muestras solidas fue necesario triturar el sustrato e inóculo y diluirlos en una proporción 1:5 para agitarlos durante 1 hora procurando que se mezcle correctamente con el agua destilada como lo hizo (Ramos, 2014). Todo este proceso se muestra en la figura 10.

Figura 10

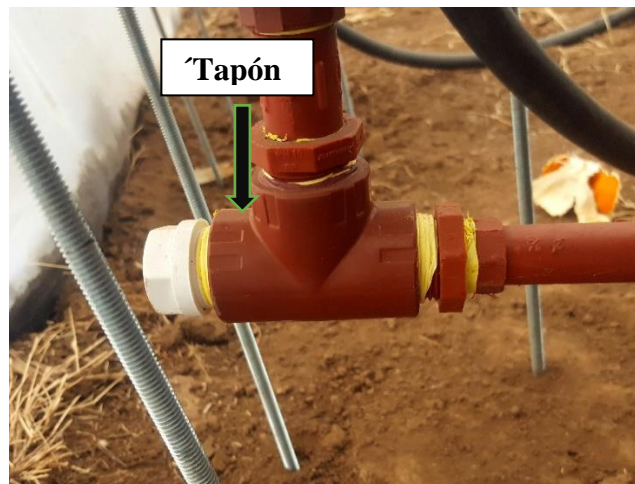
Proceso para realizar la medición del pH



Utilizando un multiparámetro Hanna Instruments previamente calibrado, se monitoreo valores de pH abriendo un tapón rosco ubicado estratégicamente debajo del digestor y se procedió a retirar una pequeña muestra 0.5 ml de mezcla de los biodigestores. Luego se coloca en un vaso de precipitación y se diluye en agua destilada. Como se muestra en la figura 11.

Figura 11

Tapón rosco utilizado para la extracción de muestra



3.2.2.5 Temperatura

La medición de temperatura se realizó mediante termometría, se utilizó un termohigrómetro ThermoPro TP50 para medir la temperatura ambiental. La temperatura en los digestores se midió con un termómetro infrarrojo modelo HO-T2028 como se muestra en la figura 12. Los datos se tomaron directamente una vez al día y durante todo el experimento. La temperatura de operación fue en el rango mesofílico entre 20 a 45 °C por las condiciones ambientales existentes en el lugar de estudio.

Figura 12

Instrumentos utilizados para la medición de la temperatura



Para mantener un correcto equilibrio térmico y asegurar el desarrollo de las bacterias metanogénicas se adecuó el lugar del experimento. Se construyó un invernadero para mantener la temperatura en rangos mesofílicos. Dentro del invernadero se colocó las unidades experimentales (UE) como se muestra la figura en la figura 10.

Figura 13

Invernadero y unidades experimentales



La medición de temperatura se realizó en las tres UE y en todo el proceso se operó en rangos mesofílicos. Las pruebas fueron evaluadas en dos meses ya que la producción de biogás aumenta conforme la temperatura de 30 a 40 °C (mesófilo).

3.2.2.6 Contenido de carbono y nitrógeno

Las pruebas elementales: Carbono, Nitrógeno fueron enviadas a realizar al Laboratorio de Ciencias Químicas de la Universidad Politécnica. La metodología utilizada para el proceso se presenta en la tabla 5.

Tabla 5

Métodos para análisis fisicoquímicos del sustrato e inóculo

Muestra a ser analizada	Método
Carbono orgánico total	PE-25 / SM Ed. 23, 2017, 5310 B / IRND, Combustión Cálculo basado en HH, Ed 7, 2012, 8075, SM Ed. 23, 2017, 4500-NO3-B, SM Ed. 23, 2017, 4500 - NO2- B/ Espectrofotometría VIS
Nitrógeno Total	Cálculo basado en HH, Ed 7, 2012, 8075, SM Ed. 23, 2017, 4500-NO3-B, SM Ed. 23, 2017, 4500 - NO2- B, 5310 B
Relación C/N	Determinación del contenido total de carbono, hidrógeno y nitrógeno

Fuente: Laboratorio de Ciencias Químicas de la Universidad Politécnica

Todas las mediciones a excepción de sólidos volátiles, humedad, carbono y nitrógeno se monitorearon diariamente hasta finalizar el experimento.

3.2.3 Formulación de combinaciones entre residuo e inóculo (S/I) de acuerdo con sólidos totales y sólidos volátiles

El método del potencial bioquímico de metano (PBM) describe la producción de biogás mediante ensayos discontinuos o Batch en condiciones anaerobias. Se obtuvo información sobre la biodegradabilidad y la naturaleza de los residuos orgánicos. Existen varios métodos para evaluar el PBM como los descritos por (Field et al., 1988).

Otros autores emplean la prueba de residuos orgánicos sólidos como (Cho et al., 1979). Se realizó ensayos de biodegradabilidad utilizando el método PBM. Se utilizó un inóculo para Para acelerar la producción de biogás. Las bacterias que se encuentra dentro ayudaran a estabilizar el medio donde se desarrollan (digestores). Esto hace que se incremente las probabilidades de desarrollo (Varnero, 2012).

3.2.3.1 Adecuación del Inóculo

Para la preparación del inóculo se siguió con la metodología planteada por Capcha, (2014) donde se tomaron muestras de eses frescas del establo de la Fundación Bretren Unidas. Se homogenizó con muestras secas para tener valores cercanos a la realidad. Luego se llevó al lugar de experimentación para adecuar el inóculo. Se dejó reposar durante una semana agitando diariamente. La activación del inóculo provoca la proliferación de los microorganismos, cómo se demuestra en la figura 14.

Figura 14

Mezcla de excretas de vaca, húmeda y seca



3.2.3.2 Adecuación del sustrato

Según Varnero (2012) para acelerar la descomposición de residuos se necesita minimizar el tamaño de partículas y se debe triturar la materia orgánica hasta alcanzar el tamaño deseado. En este caso se trituro hasta alcanzar un tamaño de articulo de 1 cm. Para eso se utilizó una licuadora marca Oster donde se depositaron los residuos para triturarlos hasta alcanzar la consistencia adecuada cómo se observa en la figura 15.

Figura 15

Herramienta utilizada para triturar los residuos



3.2.3.3 *Ensayos de biodegradabilidad anaerobia de las mezclas Residuo orgánico-estiércol vacuno, sustrato/inóculo (S/I)*

Para determinar el porcentaje de mezcla entre sustrato e inóculo se basó en el método alemán y la norma VID 4630, planteado en la investigación de (Angelica, 2017). La fórmula utilizada se presenta en la ecuación 6.

$$pi = \frac{mi * SVi}{ms * SVs} \quad (EC 6)$$

Donde:

pi: relación en masa (adimensional);

ms: cantidad de sustrato en gramos

mi: cantidad de inóculo en gramos

SVi: concentración de inóculo en masa fresca

SV: concentración del sustrato en masa fresca.

El cálculo del porcentaje de inóculo que se agregó a la mezcla partió de la fórmula. Y por la capacidad de los digestores (5 kg) se tomó 4 kg de residuos que son el sustrato de la mezcla para calcular el porcentaje de inóculo que se

agregara. la norma VID 4630 nos dice que en la mezcla el inóculo no debe exceder en 1.3 a 3 % del total.

3.2.3.4 Construcción del prototipo de digestor Batch.

Para el desarrollo del experimento se contó con 3 unidades experimentales de 5 litros de capacidad. El diseño se tomó de Castillos, (2012) y se lo presenta en la figura 16. Los cilindros se encuentran perforados en 4 orificios con distinto diámetro. En la salida de gas, biol y el sistema de agitación se conectó una bomba manual de palanca cómo se muestra en la figura 16.

Figura 16

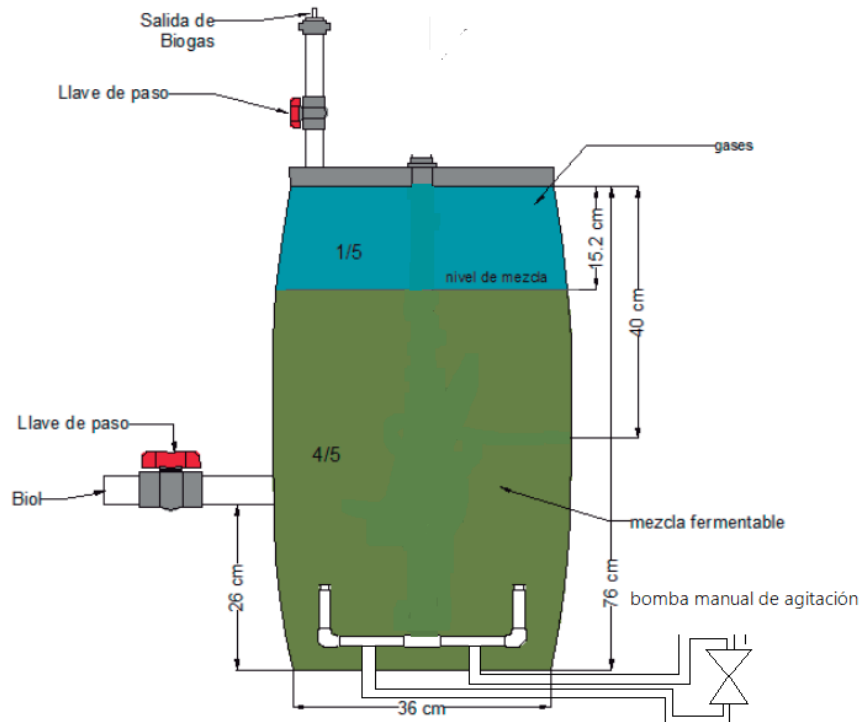
Digestor batch utilizado en la investigación



Se utilizó teflón de $\frac{1}{2}$ "para evitar fugas. Se realizó cuatro vueltas con teflón en las secciones a unir, con la finalidad de ofrecer un mejor sellado y evitar fugas en el sistema. Para finalizar los accesorios fueron sellados con silicona hermetizando el sistema. Cada digestor fue sometido a una prueba de. En la figura 17 se muestra el esquema del digestor Batch utilizado en la experimentación.

Figura 17

Esquema del digester Batch utilizado en la experimentación.

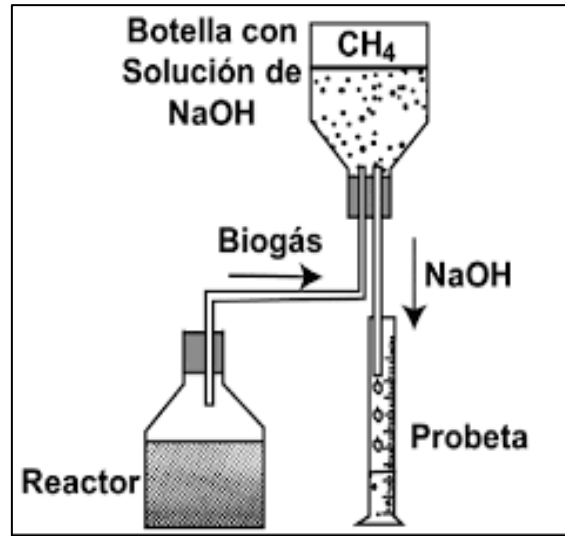


3.2.4 Cuantificar la cantidad de biogás

Para medir el volumen de biogás se utilizó el sistema volumétrico (Cárdenas y Cabezas, 2012). El volumen de biogás producido en cada reactor se cuantificó acorde a la metodología descrita por (Cóndor y Katherine, 2018; Wilkie et al, 2004). Esta técnica describe el desplazamiento del volumen equivalente a la solución de barrera hidróxido de sodio (NaOH), esto permite desplazar la solución hacia una probeta. Los valores indicados mostraron la cantidad de biogás generado. Todo el proceso se evaluó durante el tiempo de retención de 45 días. La figura 18 muestra el funcionamiento de la solución barrera.

Figura 18

Esquema del sistema de medición de biogás



La metodología de Córdor y Katherine (2018) describe el desplazamiento de la solución barrera a los 8 días, esto indica que se empieza a generar biogás. Córdor y Katherine (2018) recomienda que se ingrese un gel de sílice dentro de las jeringas y dejar actuar por 5 minutos para poder extraer la mayor cantidad de humedad posible en las muestras.

3.2.5 Inicio del experimento

Se realizó ensayos de potencial de biometización en cada muestra S/I, asignadas en condiciones mesófilas en digestores de 5 litros de capacidad. Para esto se formuló las mezclas de acuerdo con la metodología planteada por Angelica, (2017). El proceso se lo realizó en un periodo de retención de 45 días, siguiendo con la metodología aplicada por Córdor y Katherine, (2018). Como lo muestra la tabla 6.

Tabla 6

Cantidades de residuo orgánico y estiércol vacuno utilizadas en las combinaciones de S/I.

Unidades experimentales Nomenclatura	Composición	%	pH	Adición de agua	SV %	Cálculo del sustrato (kg)
UE1	FORSUM	100	7	01:01	100	4
UE2	FORSUM + EV 5%	95/5	7	01:01	100	4
	FORSUM + EV				100	4
UE3	50%	50/50	7	01:01		

La temperatura mantuvo en rangos mesofílicos (25°C - 38°C). El peso del sustrato e inóculo fue de 4 kg por el factor capacidad. En la tabla 6 se detalla los ensayos que fueron realizados con las cantidades de mezclas para el sustrato e inóculo. Se cuenta con un total de 3 unidades experimentales compuestas por tres tratamientos. Cada uno contuvo distintas cargas de inóculo y fueron mezclados en agua. Se dejó un espacio de alrededor de 1 kg según recomienda (Varnero, 2012).

3.2.6 Diseño experimental

Se aplicó un diseño que corresponde al análisis de la varianza con un factor, en el tratamiento se estableció las relaciones sustrato-inóculo (S/I) considerando la cantidad de sólidos volátiles necesarios para la digestión anaerobia. Los sólidos totales indican toda la materia orgánica que se convertirá en biogás y los datos del diseño se presentan en la tabla 7.

Tabla 7*Diseño experimental*

Diseño experimental	ANOVA
Número de tratamientos	3
Número de repeticiones	3
	cantidad de inóculo
niveles	relación 1:0 relación 1:0.05 relación 1:0.5

Se consideró al inóculo como una variable independiente con el fin de observar el grado de influencia sobre la producción de biogás. El tiempo de operación fue de 45 días, se monitoreó dos parámetros: temperatura, pH.

3.2.6.1 Hipótesis

La mezcla de estiércol vacuno más el componente orgánico de los residuos urbanos de Pedro Moncayo permite una mayor generación de biogás.

Hipótesis Nula (**H₀**): Los tratamientos aplicados son iguales (**H₀**: T1 = T2)

Hipótesis alternativa (**H₁**): Los tratamientos aplicados presentan diferencia (**H₁**= T1 ≠ T2)

Capítulo IV

Resultados y Discusión

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en base a cada uno de los objetivos planteados en la investigación.

4.1 Caracterización de los residuos orgánicos de Pedro Moncayo

4.1.1 Generación de residuos sólidos orgánicos del Cantón Pedro Moncayo

Para cuantificar la generación de residuos se utilizó el método planteado por el Segundo Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos de Fonseca, Amaya et al. (2009) presentado en el capítulo de metodología. Para lo cual se utiliza la ecuación 1 y se utilizó el método de cuarteo y medición de datos. Los valores teóricos y de campo se presentan en la tabla 8.

En la tabla 8 se observa una alta generación de residuos orgánicos. Según Forster, et al., (sf) el 45% de los gases contaminantes causantes del cambio climático provienen de la fracción orgánica presente en rellenos sanitarios, el 63% es biogás. Una mezcla de gases entre los cuales se encuentra CH₄. Según Varnero y Arellano, (1991) la generación promedio de biogás en los rellenos es de 558.33 m³/ton, si se los utiliza como materia prima se podrá evitar la liberación de 122396.10 m³ de biogás que podrían ser utilizados como fuente de energía.

Tabla 8

Generación de residuos del cantón Pedro Moncayo

Días	% materia orgánica	Datos		
		RSM teórica kg/día Rs	Forsum teórica kg/día orgánico	Forsum campo kg/día orgánico
1	77.80%	11800.0	9180.4	8980
2	76.60%	11800.0	9038.8	8340
3	74.42%	11800.0	8781.6	8390
4	72.20%	11800.0	8519.6	8720
5	68.57%	11800.0	8091.3	7460

Nota: Fórum; Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos municipales.

Según la proyección realizada por Castro y meza (2012) la generación diaria de residuos sólidos urbanos del cantón alcanza 11800 kg. El 73.91% son orgánicos proyectando una generación mensual de 261.7 toneladas. Desde mediados del 2017 se empezó con una recolección clasificada de residuos (orgánicos e inorgánicos). En septiembre y octubre de 2019 se recolectó un promedio de 219.23 toneladas de residuos orgánicos.

4.1.2 Características físicas del sustrato e inóculo

4.1.2.1 Estratificación de los residuos sólidos orgánicos

Cómo resultado de la estratificación se obtuvo 6 estratos principales: residuo de comida, frutas, verduras, restos de poda, residuos amiláceos presentados en la tabla 9.

Los residuos orgánicos que mayor predominancia tienen son amiláceos, representan alrededor de 37% del total generado. Es importante decir que al poseer un 37% de residuos amiláceos, se genera un ambiente óptimo para la generación de biogás ya que son ricos en almidón y otros elementos que ayudan al desarrollo de las bacterias metanogénicas.

Tabla 9

Estratificación de los residuos orgánicos de Pedro Moncayo

Caracterización de residuos orgánicos Pedro Moncayo		
Clasificación	Peso (kg)	Porcentaje
residuo de comida	16	8%
Frutas	50	25%
Verduras	30	15%
Carnes	4	2%
Restos de poda	26	13%
Residuos amiláceos	74	37%
Total	200	100%

Cabe recalcar que por la homogeneidad que presenta la composición de residuos, no es necesario caracterizar en cada experimento ya que los resultados informan que los hábitos de consumo de la población urbana se mantienen igual durante todo el año.

4.1.2.2 *Humedad de los residuos sólidos orgánicos y del estiércol de vaca*

La tabla 10 muestra datos de humedad siendo: EV: estiércol vacuno y FORSUM: fracción orgánica de residuo sólido urbano. Se realizó el cálculo del porcentaje de humedad por triplicado para reducir el error. Se puede observar que los residuos orgánicos poseen alrededor de 80.2% de humedad y baja cantidad de sólidos totales 19.8 %.

Por otra parte, existe una diferencia significativa en el estiércol vacuno ya que el porcentaje de humedad representa la mitad de su peso (50%), muy por debajo de los RSO. Esto provoca una digestión lenta y al agregar agua destilada se mejoraron las condiciones del sustrato, da mejor movilidad a las bacterias metanogénicas como lo menciona Varnero, (2011).

Tabla 10

Porcentaje de humedad de los residuos sólidos orgánicos y del estiércol de ganado vacuno

Código	Peso del recipiente (g)	Peso del recipiente + muestra húmeda (g)	Peso del recipiente + muestra seca (g)	Humedad total
EV1	7.1	278.5	137.8	51.84
EV2	7.1	225.5	108.1	53.75
EV3	7.1	246.4	118.2	53.57
FORSUM 1	7.1	448.3	88.02	81.66
FORSUM 2	7.1	449.2	106.21	77.58
FORSUM 3	7.1	373.6	77.01	80.92

4.1.2.3 *Sólidos totales, sólidos volátiles y cenizas de la fracción orgánica de residuos y del estiércol de vaca*

Los ejemplares de sustrato (FORSUM) e inóculo muestran un alto contenido de sólidos volátiles. En el sustrato del 5.3%, mientras que el inóculo (estiércol) de 1.5%. Esto demuestra la media capacidad que tienen los residuos e inóculo de generar biogás debido a su alto porcentaje de humedad (80%) en los residuos orgánicos.

Al existir un alto porcentaje de humedad el peso que conforma la materia orgánica se evapora esto deja un 5% de SV que se transforma en biogás. Al mezclar el sustrato e inóculo se alcanza una mejor concentración de sólidos volátiles alrededor de 7.3%. Esto ayuda a mejorar las condiciones de habitar de las bacterias, resulta en una mayor producción de biogás.

Tabla 11

Cantidad de ST y SV presentes en la muestra sustrato/inóculo

Tratamiento	Repetición	Detalle	% ST	%SV
T1	FORSUM 1	Residuo sólido orgánico	9.19	5.349
	FORSUM 2	Residuo sólido orgánico	8.34	5.124
	FORSUM 3	Residuo sólido orgánico	9.31	5.314
T2	EV1	Estiércol vacuno	1.62	1.460
	EV2	Estiércol vacuno	2.12	1.959
	EV3	Estiércol vacuno	2.55	2.395

4.1.3 **Características químicas del sustrato e inóculo**

4.1.3.1 *Relación carbono/nitrógeno*

El contenido de residuos orgánicos muestra un porcentaje de carbono 862.26 g y para el estiércol de 286.8 g por kg de muestra. La materia orgánica que se degrada y se convierte en biogás es el carbono.

Por otra parte, el contenido de Nitrógeno es bajo, 10.63 g/kg para residuos y 15.3 g/kg para estiércol. Según Ruiz, (2002) un alto contenido de nitrógeno produce mucho amoníaco e inhibe el proceso anaerobio si supera 3

kg/m³. Aunque existen casos que reportan concentraciones tolerables a 4 y 9 kg/m³. Sin embargo, los residuos y estiércol presentan un bajo contenido de nitrógeno con cualidades aptas para producir biogás como se presenta en la tabla 12.

Tabla 12

Contenido de carbono y Nitrógeno del sustrato e inóculo

Tratamiento	Repetición	Detalle	Carbono g/kg	Nitrógeno g/kg	Relación C/N
T1	FORSUM1	Residuo sólido orgánico	383.4	10.88	35:1
	FORSUM1	Residuo sólido orgánico	381.4	11.63	32:1
	FORSUM1	Residuo sólido orgánico	382	10.88	35:1
T2	EV1	Estiércol vacuno	285.1	14.25	20:1
	EV2	Estiércol vacuno	287	14.63	19:1
	EV3	Estiércol vacuno	285.3	15.38	18:1

Dónde: FORSUM: fracción orgánica de residuo sólido urbano; Ev: estiércol vacuno

4.1.3.2 pH inicial de los residuos orgánicos de pedro Moncayo y del estiércol

En la tabla 13 se puede observar existencia de acidez con pH de 4.3. Fue necesario corregir este parámetro pues afecta al desarrollo de la investigación. Las bacterias metanogénicas son sensibles a los cambios de pH, solo sobreviven en un ambiente de 6.5 a 7.5. Se añadió bicarbonato de sodio a la mezcla final para poder neutralizar el pH y llegar a condiciones favorables (6.5 – 7.5).

Tabla 13

Mediciones de pH en el estiércol y en residuos orgánicos antes de la operación

Cuantificación de pH		
Día	Residuos	Estiércol
lunes	4.3	6.3
miércoles	4.4	6.7
viernes	4.7	6.2
Promedio	4.47	6.4

Se logró corregir el pH de la mezcla al añadir bicarbonato de sodio. Se logró alcalinizar el sustrato y llegar a la neutralidad 7. Al realizar la experimentación con un alta acidez o alcalinidad, las bacterias metanogénicas sufren una disminución en su desarrollo. La corrección de este parámetro fue crucial antes de iniciar la experimentación. Una vez corregido el problema se procedió a igualar las unidades experimentales a un pH de 6.8. Se puso en marcha la experimentación dentro del digester durante el periodo de retención de 45 días.

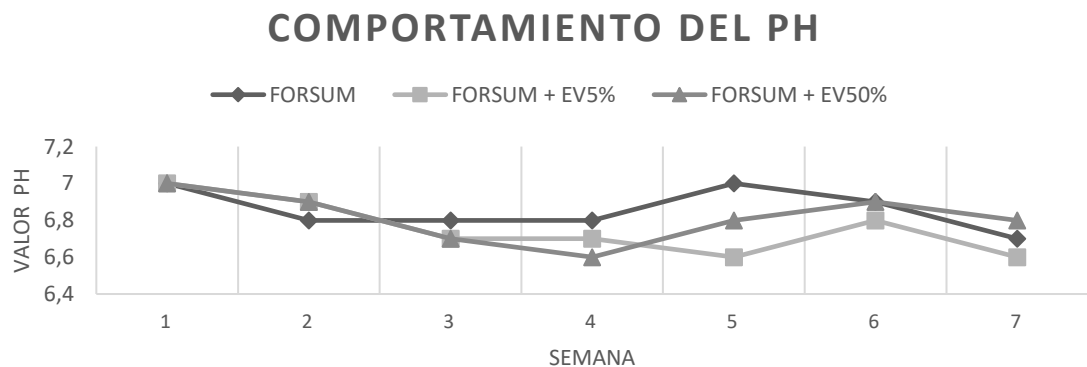
4.1.4 Producción de biogás de la mezcla sustrato/inóculo

4.1.4.1 Comportamiento del pH de la mezcla utilizada en el proceso de digestión anaerobia

Por la alta acidez en residuos y estiércol, se estabilizó la mezcla adecuándola a un pH de 7. Las tres unidades experimentales presentaron un pH uniforme en la primera semana. Sin embargo, en posteriores semanas los valores de pH empezaron a fluctuar. En la quinta semana se presentó una fluctuación inusual en el pH y se debió a la acidez en la UE2 con un valor de pH de 6.3. Se tubo que corregir nuevamente con bicarbonato de sodio para neutralizar cómo se muestra e la figura 19.

Figura 19

PH de la mezcla



Donde: UE: Unidades experimentales

Después de corregir los niveles de pH se continuó con la experimentación y se procuró mantener las UE dentro de los rangos establecidos por Varnero, (2010) con una media de pH de 6.8 en las tres UE. Se corrobora con valores similares a los obtenidos por Angelica, (2017). A pesar de que la autora utilizó lodos de depuración el estiércol actúa de la misma.

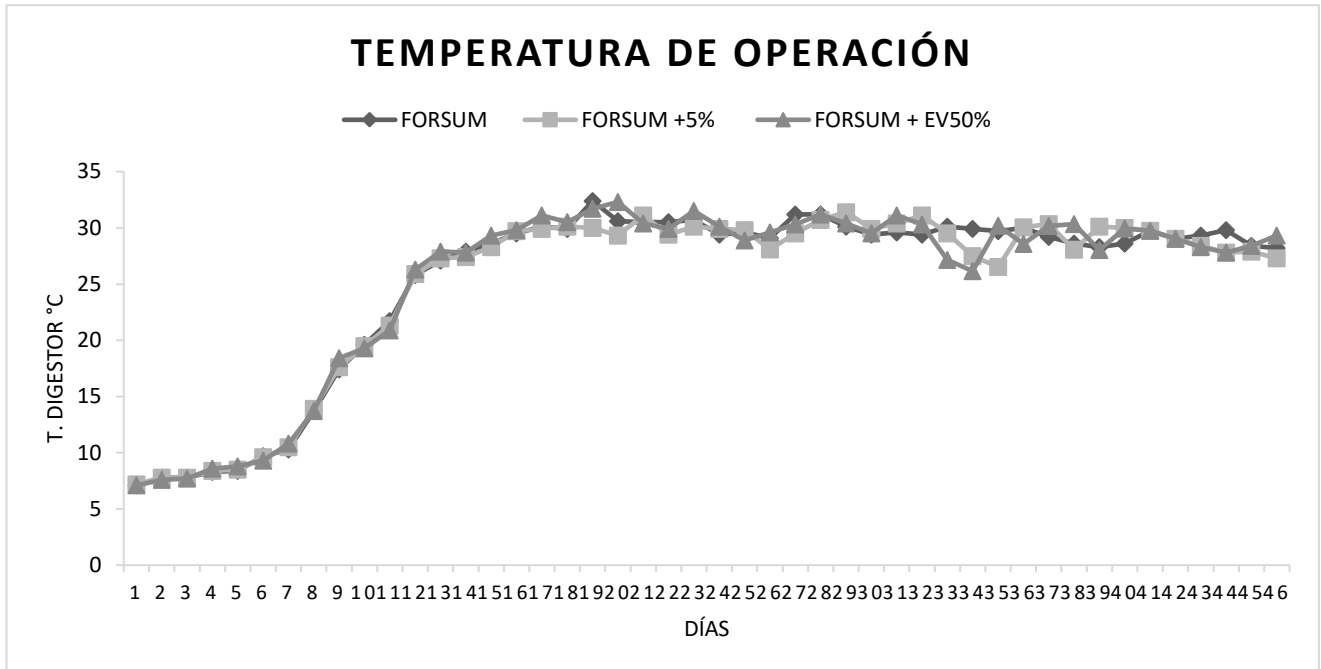
El sustrato demostró tener buenas características de pH para que las bacterias metanogénicas se desarrollen, sin embargo, por las características químicas de la materia prima (gran cantidad de humedad) se presentó acidez en la semana 5 en la UE2. Como consecuencia el cese de consumo de ácidos orgánicos por parte de las bacterias metanogénicas como lo dice Cándales, (2011). Al corregir el pH se alcanzó la estabilidad en la mezcla y los rangos de se mantuvieron similares en toda la experimentación.

4.1.4.2 Temperatura dentro de las unidades experimentales

La temperatura ambiental de trabajo fue 37.35°C en el día y 20.92°C en la noche. Se trabajo en rangos mesofílicos. Según Sebola et al. (2015) una temperatura óptima hace que las bacterias metanogénicas produzcan una mejor calidad de biogás y esto sucede a los 30°C. Gracias a las condiciones ambientales, en el transcurso del día se cumplen con rangos de temperatura sugeridos. Por otra parte, la temperatura promedio dentro de los digestores es de 29.3 °C, operando a condiciones mesofílicas como lo muestra la figura 20.

Figura 20

Comportamiento de la temperatura en las unidades experimentales



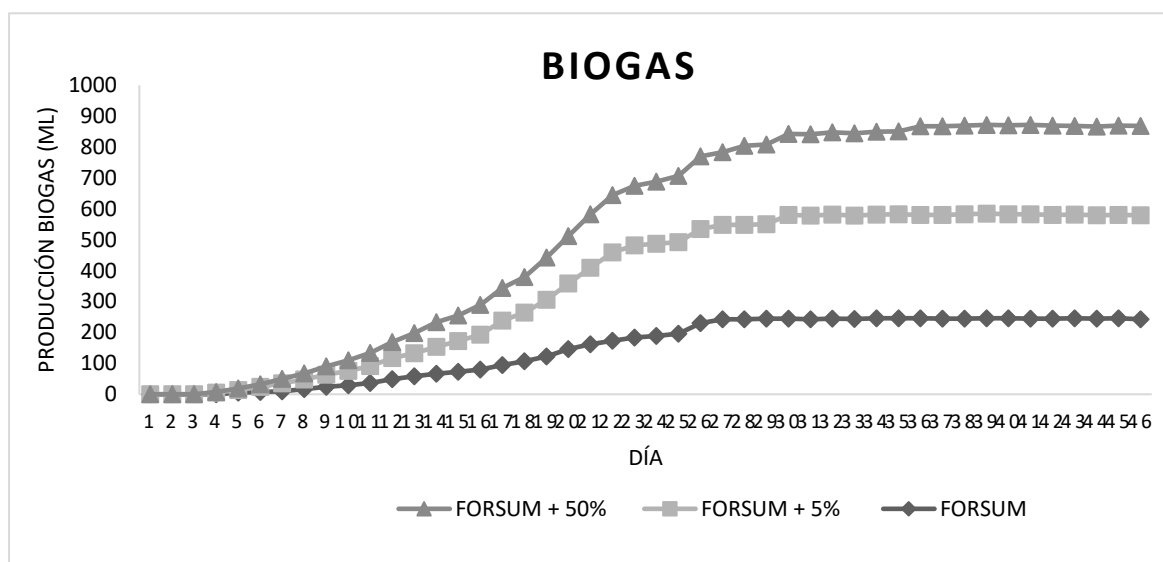
Al inicio del experimento cada digester se encuentra en rangos psicrófilos (5 - 25°C). En el día 15 la temperatura se incrementó mostrando indicios de un aumento en la población de microorganismos descomponedores e iniciando con la etapa mesofílica. Existe un correcto funcionamiento dentro de ellos, ya que existe influencia directa entre la temperatura de operación en los digestores, el desarrollo de los microorganismos descomponedores y la producción de biogás.

Según Varnero, (1991) A mayor temperatura mayor solubilidad por lo que existirá un mejor ambiente para los microorganismos, de manera que la materia orgánica se encuentra más accesible lo que implica un aumento de la velocidad del proceso. Por último, se debe mencionar que la solubilidad de sólidos y semisólidos, como es el caso de la mezcla, residuo e inóculo, disminuye de acuerdo con la temperatura, implicando una menor necesidad de agitación.

4.1.4.3 Volumen de biogás producido

La producción de biogás empezó en el día 4 con un volumen aproximado de 5 ml/gSV. Cada unidad tuvo un comportamiento similar. UE1, UE2 Y UE3 alcanzaron su punto máximo de producción de biogás. En el día 36 alcanzó valores de 115, 168, 211 ml/gSV respectivamente. Condor y Katherin, (2017) presentaron resultados similares, en este caso utilizaron lodos de depuración como inóculo. Esto corrobora con las conclusiones presentadas por las autoras que afirman que los lodos de depuración tienen características similares al estiércol vacuno.

Volumen de biogás producido



4.1.5 Análisis Estadístico

4.1.5.1 ANOVA

Para el análisis estadístico se aplicó ANOVA y demuestra una generación promedio de biogás para UE1, UE2 y UE3 de 151 ml/gSV, 168 ml/gSV y 211 ml/gSV respectivamente. El promedio de las muestras indica claramente que existe un aumento de producción de biogás en los tratamientos a los que se agregaron un inóculo como lo muestra la Tabla 14.

La actividad microbiana se estabiliza en el día 36, provocando que la producción de biogás sea la misma. Todas las unidades experimentales tienen

un comportamiento similar, sin embargo, UE3 tiene una mayor producción. La figura 21 muestra producción acumulada de biogás. La menor cantidad producida se obtuvo en UE1 con un total de 6958 ml/gSV. Mientras que la mayor producción se logró en UE3 con un total de 9716.5 ml/gSV. Esto se logró aun después que UE3 presentara problemas de acidez. Sin un correcto pH la actividad de las bacterias cesa y la producción cae.

Si se corrige errores a tiempo se puede aumentar la generación de biogás. En promedio las dos unidades experimentales (UE1 y UE2) obtuvieron una generación total de biogás de 6958 ml/gSV, 7759 ml/gSV respectivamente. Mientras que la UE3 alcanzo una producción de 9716 ml/gSV.

Tabla 14

Generación promedio de biogás

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>
FORSUM	46	6958	151.26
FORSUM + EV5%	46	7759	168.67
FORSUM + EV50%	46	9716	211.21

El análisis de la varianza muestra un valor F 3.24 y un valor crítico F 3.08 indicado en Tabla 14. Se procede a la validación de datos mediante Fisher. El análisis estadístico muestra un valor de F de 3.24, en una prueba de 95% de confiabilidad, esto demuestra que la hipótesis es afirmativa. Esto refleja una clara relación entre la producción de biogás y la mezcla sustrato inóculo.

4.1.5.2 Análisis de correlación

El análisis de correlación de Pearson muestra una baja relación del inóculo sobre la producción de biogás más del 60% y es directamente proporcional a la producción de biogás. Mientras que las otras variables pH y temperatura muestran una correlación menor, 30 y 45% respectivamente (ANEXO 15). La variable que más influye, a la que hay que controlar, monitorear es la variable inóculo.

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- La tasa de generación de materia orgánica en Pedro Moncayo fue de 0.63 kg/habitante-día. Al año se generan 229.23 toneladas de materia orgánica, de las cuales el 53.4 % es sólido volátil es decir 122.44 ton. Es decir que existe la materia prima necesaria para realizar pruebas de digestión a gran escala.
- La relación de mezcla que tuvo mayor producción de biogás fue la FORSUM + EV50%. Se llegó a producir 9716 ml/gSV el doble que el testigo y esto se debe a que al agregar un inóculo se aumenta la cantidad de bacterias que ingresan al sistema y a su vez se mejora las condiciones del medio donde se desarrollan, lo cual implica un aumento en la población bacteriana, haciendo que la producción de biogás aumente.
- La mayor producción de biogás se alcanzó a una temperatura de 36°C (mesofílicas) produciendo 198 ml/gSV de biogás en un día. Esto demuestra que a mayor temperatura mayor será la generación de biogás y menor el tiempo de retención. Mientras que la prueba de Fisher muestra un valor de F de 3.24 y una F crítica de 3.06 y demuestra que la hipótesis es afirmativa.
- El análisis de correlación indica una influencia del 60% entre el inóculo, sustrato sobre la producción de biogás. Esto demuestra que existe una baja correlación entre estos parámetros. Por otra parte, existe un 30% y 40% de correlación entre la temperatura y pH sobre la producción de biogás demostrando su baja influencia en la producción de biogás.

5.2 Recomendaciones

- Es recomendable realizar una prueba de combustión para evidenciar la calidad de biogás producido. Se debe realizar análisis del biogás para determinar la representación exacta de CH_4 que tienen en el total.
- Evaluar la producción de biogás de distintas combinaciones sustrato/inóculo para determinar cómo cambia la composición del biogás respecto a la materia prima a utilizar y establecer la mejor combinación que produzca CH_4
- Se recomienda evaluar el residuo final para determinar su eficiencia como un fertilizante mediante la aplicación a diferentes cultivos y con el fin de conocer el impacto producido en el desarrollo del cultivo.
- Difundir la tecnología de digestión anaerobia como una alternativa al uso de gas de uso doméstico. Enfocado a la producción de energía y biofertilizantes.

REFERENCIAS

- Abdul Samad, N. A. F., Jamin, N. A., y Saleh, S. (2017). Torrefaction of Municipal Solid Waste in Malaysia. *Energy Procedia*, 138, 313-318. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.106>
- Adhikari, S., Nam, H., y Chakraborty, J. P. (2018). Chapter 8 - Conversion of Solid Wastes to Fuels and Chemicals Through Pyrolysis. In T. Bhaskar, A. Pandey, S. V. Mohan, D.-J. Lee, y S. K. Khanal (Eds.), *Waste Biorefinery* (pp. 239-263): Elsevier.
- Aguilar Santelises, A., Etchevers Barra, J. d., y Castellanos Ramos, J. Z. (1987). *Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo*.
- Ahn, H. K., Smith, M. C., Kondrad, S. L., y White, J. W. (2010). Evaluation of biogas production potential by dry anaerobic digestion of switchgrass–animal manure mixtures. *Applied biochemistry and biotechnology*, 160(4), 965-975.
- Alcalde Cartagena, R., Olmedo, C., y Ramírez-Gómez, Á. (2013). *El biogás y sus diferentes tecnologías*.
- Alwaeli, M. (2011). *Municipal Solid Waste Recycling and cost effectiveness*. New York: Nova Science Publishers, Inc.
- Ambiente, M. d. M. (2011). Matriz Actualizada 2011 2402: Información de Residuos Sólidos Urbanos por Municipio en Ecuador. (Información Preliminar no Publicada). In PNGIDS (Ed.).
- Amini, H. R., Reinhart, D. R., y Mackie, K. R. (2012). Determination of first-order landfill gas modeling parameters and uncertainties. *Waste Management*, 32(2), 305-316. doi:<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.09.021>

- Angelica, B. A. L. (2017). Producción de biogás a través de la codigestión de residuos sólidos y semisólidos: hacia una planta centralizada de biogás para la generación de energía. *CENTRO*.
- APHA. (1915). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (Vol. 2): American Public Health Association.
- Avendaño, D. (2010). Diseño y construcción de un digestor anaerobio de flujo pistón que trate los residuos generados en una explotación ganadera de la localidad de Loja, Ecuador, empleando tecnologías apropiadas. *Loja, EC: Universidad Politécnica de Madrid*.
- Bhada-Tata, P., y Hoornweg, D. A. (2012). What a waste?: a global review of solid waste management *1*.
- Bulege, W. (2013). Crecimiento demográfico y cambio climático. *Apuntes de Ciencia y Sociedad, 03*, 4-5. doi:10.18259/acs.2013001
- Cendales, E. (2011). Producción de biogás mediante la codigestión anaeróbica de la mezcla de residuos cítricos y estiércol bovino para su utilización como fuente de energía renovable. *Bogotá, Colombia*.
- Cantanhede, A., Monge, G., Sandoval Alvarado, L., y Caycho Chumpitaz, C. (2005). Procedimientos estadísticos para los estudios de caracterización de residuos sólidos. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: investigación, desarrollo y práctica, 1*(1).
- Capcha Eulogio, L. M. (2014). Evaluación de la macroalga *Ulva lactuca* como aportante de nutrientes a un inóculo metanogenico en la producción de biogás y biol mediante digestión anaerobia de residuos orgánicos del comedor de la UNALM [Universidad Nacional Agraria La Molina].
- Carrillo, L. (2004). Energía de biomasa. *edición del autor*, 16.
- CASTILLO FAURA, G. I. *Evaluación de la codornaza y gallinaza de granjas avícolas para la producción de biogás y bioabono mediante digestión anaerónica*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima (Peru). Facultad de Ciencias, 2012.

- Castrillón Quintana, O., y Puerta Echeverri, S. M. (2004). Impacto del manejo integral de los residuos sólidos en la corporación universitaria lasallista. *Revista Lasallista de Investigación*, 1(1), 15-21.
- Castro Gómez, M. E., y Vinuesa Armas, M. J. (2012). Manual para el Manejo Adecuado de los Residuos Sólidos Generados en el Camal Municipal de Riobamba.
- Chester, L., y Elliot, A. (2019). Energy problem representation: The historical and contemporary framing of Australian electricity policy. *Energy Policy*, 128, 102-113. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.12.052>
- Cho, J. K., Park, S. C., y Chang, H. N. (1995). Biochemical methane potential and solid state anaerobic digestion of Korean food wastes. *Bioresource technology*, 52(3), 245-253.
- Corrales, L. C., Romero, D. M. A., Macías, J. A. B., y Vargas, A. M. C. (2015). Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. *Nova*, 13(24), 55-82.
- Cárdenas Cabezas, J. C. (2012). *Evaluación de la calidad de biogás y biol en biodigestores utilizando estiércol de vaca y residuos orgánicos del comedor pre-tratados con la técnica del bokashi en la UNALM*. Retrieved from
- Cóndor, C., y Katherine, L. (2018). Evaluación por valoración del potencial de biometanización del rendimiento de producción de metano a partir de suero lácteo de la quesería artesanal de la zona rural de Machachi inoculado con estiércol bovino.
- Fonseca, A. E., Amaya, N. M., Diazgranados, N. L., Camargo, A. S., y González, M. A. I. (2009). *La gestión sostenible de los residuos. Memorias II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos*: Universidad del Norte.
- Delgado, H. A. (2011). Farm Animal Welfare in Colombia: A country situation report.

- Deublein, D., y Steinhauser, A. (2011). *Biogas from waste and renewable resources: an introduction*. John Wiley y Sons. In.
- Dominguez, P., y Ly, J. (2000). Biodigestores como componentes de sistemas agropecuarios integrados. *Instituto de Investigaciones Porcinas. Punta Brava. La Habana*, 5-8.
- Eggleston H.S., B. L., Miwa K., Ngara T. y Tanabe K. (2006). IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. *National Greenhouse Gas Inventories Programme*, 5.
- Espinosa Lloréns, M. d. C., López Torres, M., Pellón Arrechea, A., Mayarí Navarro, R., y Fernández Colomina, A. (2007). La fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos como fuente potencial de producción de biogás. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 38(1).
- Fan, Y. V., Klemeš, J. J., Lee, C. T., y Perry, S. (2018). Anaerobic digestion of municipal solid waste: Energy and carbon emission footprint. *Journal of Environmental Management*, 223, 888-897. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.005>
- Field, J., Sierra-Alvarez, R., y Lettinga, G. (1988). Ensayos anaerobios (Anaerobic assays). 4 Seminario de Depuración Anaerobia de Aguas Residuales. *Universidad de Valladolid, Spain*.
- Ghouleh, Z., y Shao, Y. (2018). Turning municipal solid waste incineration into a cleaner cement production. *Journal of Cleaner Production*, 195, 268-279. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.209>
- González Sánchez, M. E., Pérez Fabiel, S., Wong Villarreal, A., Bello Mendoza, R., y Yañez Ocampo, G. (2015). Residuos agroindustriales con potencial para la producción de metano mediante la digestión anaerobia. *Revista Argentina de Microbiología*, 47(3), 229-235. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ram.2015.05.003>
- Hajji, A., y Rhachi, M. (2013). The Influence of Particle Size on the Performance of Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste. *Energy*

doi:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2013.07.059>

- Hernández, F. M. (2015). *Producción de biogas con suero de queso: tratamiento y generación de energía renovable a partir de lactosuero*: Francisco M. Hernández.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2006). *Metodología de la investigación* (Vol. 4): México.
- Hilbert, J. (2003). Manual para la producción de biogás. *Instituto de Ingeniería Rural, INTA Castelar, Morón, Argentina*.
- Huertas, R. A. P. (2015). Digestión anaeróbica: mecanismos biotecnológicos en el tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la industria alimentaria. *Producción+ limpia*, 10(2).
- IDAE. ((2007)). Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
- INEC. (2010). Resultados del Censo 2010. In. Quito.
- Iván, V.-R., José, M.-R., Melitón, E.-J., y Agustina, O.-S. (2014). Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I: excretas de ganado bovino y porcino. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 15(3), 429-436. doi:[https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(14\)70352-X](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(14)70352-X)
- Jiménez, A. M., Vargas, J. R. A., y Rodríguez, M. A. M. (2014). Volver al futuro: bioenergía, biocombustibles y biotecnología.
- Lino, F. A. M., y Ismail, K. A. R. (2018). Evaluation of the treatment of municipal solid waste as renewable energy resource in Campinas, Brazil. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 29, 19-25. doi:<https://doi.org/10.1016/j.seta.2018.06.011>
- Liriano, R. (2005). Aplicación de biofertilizantes como alternativa nutricional, ambiental y económica en la agricultura urbana.
- Loaiza Navía, J. L. (2007). Modelación del Proceso de Lodos Activados en la Planta de Tratamiento de Aguas residuales Noreste, del Área Metropolitana de Monterrey, NL.

- MAE. (2011). Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático. Ecuador.
- Macias-Corral M, Samani Z, Hanson A, Smith G, Funk P, Yu H, Longworth J (2008) Anaerobic digestion of municipal solid waste and agricultural waste and the effect of co-digestion with dairy cow manure. *Bioresource technology* 99(17), 8288–93. doi:10.1016/j
- Meza, E. (2012). Análisis y Propuesta de Aplicabilidad de Métodos y Técnicas de Aprovechamiento, Recuperación y Eliminación de Residuos Sólidos Urbanos en Tabacundo, Cantón Pedro Moncayo. *Cantón Pedro Moncayo*.
- Meza Olmedo, M. E. (2012). *Análisis y propuesta de aplicabilidad de métodos y técnicas de aprovechamiento, recuperación y eliminación de residuos sólidos urbanos en Tabacundo, Cantón Pedro Moncayo*. Universidad Central del Ecuador, Quito. Retrieved from <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/236>
- Moya, D., Aldás, C., Jaramillo, D., Játiva, E., y Kaparaju, P. (2017). Waste-To-Energy Technologies: an opportunity of energy recovery from Municipal Solid Waste, using Quito - Ecuador as case study. *Energy Procedia*, 134, 327-336. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.537>
- Ortega, N. (2019). Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process.
- Owen, W. F., Stuckey, D. C., Healy Jr, J. B., Young, L. Y., y McCarty, P. L. (1979). Bioassay for monitoring biochemical methane potential and anaerobic toxicity. *Water research*, 13(6), 485-492.
- Pordomingo, A. J. (2009). *Gestión ambiental en el feedlot: Guía de buenas prácticas*. Retrieved from
- Ramos, J. A., Hernández, J. I., y Isaac, J. (2007). Implementación de un Biodigestor Anaerobio para la Generación de Energía Eléctrica a partir de Lodos Activados, Producto del Sistema de Tratamiento de aguas

- Residuales de la Ciudad de Abasolo. *Ciudad de Abasolo, México. Aquaforum, 11(46).*
- Ramos Suárez, J. L. (2014). *Producción de biogás a partir de biomasa de la microalga scenedesmus sp. procedente de diferentes procesos* (Doctoral dissertation, Agronomos).
- Rao, M. N., Sultana, R., y Kota, S. H. (2017). Chapter 2 - Municipal Solid Waste. In M. N. Rao, R. Sultana, y S. H. Kota (Eds.), *Solid and Hazardous Waste Management* (pp. 3-120): Butterworth-Heinemann.
- Ruiz, I., Álvarez, J. A., y Soto, M. (2001). El potencial de la digestión anaerobia en el tratamiento de aguas residuales urbanas y efluentes de baja carga orgánica. *Universidad de Coruña. Facultad de Ciencias. Campus da Zapateira. Recuperado de: [https://goo. gl/WgTGDy](https://goo.gl/WgTGDy).*
- Secofi. (1985). Norma mexicana NMX-AA-015-1985. Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-muestreo-método de cuarteo. *Dirección general de normas. Secretaría de comercio y fomento industrial. Diario oficial de la federación, México, 18 marzo de 1985.*
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, S. (2017). Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021. Toda una Vida.
- Sebola, M. R., Tesfagiorgis, H. B., y Muzenda, E. (2015, July). Methane production from anaerobic co-digestion of cow dung, chicken manure, pig manure and sewage waste. In *Proceedings of the World Congress on Engineering* (Vol. 1, No. 3). WCE London.
- Sipra, A. T., Gao, N., y Sarwar, H. (2018). Municipal solid waste (MSW) pyrolysis for bio-fuel production: A review of effects of MSW components and catalysts. *Fuel Processing Technology, 175*, 131-147. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2018.02.012>
- SOLIDS (2017). (2018). In *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater*: American Public Health Association.

- Shao, S. (2015). *Estudio de optimización de la codigestión anaerobia de residuos orgánicos mediante simulación numérica* (Master's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).
- Smcs, A. C. (1987). Análisis químico para evaluar la fertilidad del Suelo. In: Aguilar. Etcheverrs, Castellano. CONACYT Chapingo, Estado de México.
- Themelis, N. J., y Ulloa, P. A. (2007). Methane generation in landfills. *Renewable Energy*, 32(7), 1243-1257. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.04.020>
- Thomas, P., y Soren, N. (2018). An overview of municipal solid waste-to-energy application in Indian scenario. *Environment, Development and Sustainability*. doi:10.1007/s10668-018-0235-7
- Chiriboga Novillo, O. G. (2010). *Desarrollo del Proceso de Producción de Biogás y Fertilizante Orgánico a partir de Mezclas de Desechos de Procesadoras de Frutas* (Bachelor's thesis, Quito: USFQ, 2010).
- Varnero, M. (2011). *Manual de biogás. Ministerio de Energía del Gobierno de Chile, Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura, Programa de las naciones Unidas para el desarrollo*. Retrieved from
- Vázquez Durañona, O., Fernández Sánchez, M., y Damas Monzote, R. (2000). Planta de biogás de pequeñas dimensiones para fincas lecheras. *Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 9(1), 53-55.
- Veyna Castañeda, S. (2008). Efecto del control de pH, temperatura y adición de nitrógeno sobre la digestión anaerobia de residuos hortícolas.
- Walsh, M. E. (2004). Biomass Resource Assessment. In C. J. Cleveland (Ed.), *Encyclopedia of Energy* (pp. 237-249). New York: Elsevier.
- Wilkie, A. C., Smith, P. H., y Bordeaux, F. M. (2004). An economical bioreactor for evaluating biogas potential of particulate biomass. *Bioresource Technology*, 92(1), 103-109. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.08.007>

Xu, Q., Jin, X., Ma, Z., Tao, H., y Ko, J. H. (2014). Methane production in simulated hybrid bioreactor landfill. *Bioresource Technology*, 168, 92-96. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.03.036>

ANEXOS

Anexo 1 *Registro Fotográfico*



Foto 1. Homogenización de la muestra



Foto 2. Separación y etiquetado por estratos.



Foto 3. Pesaje de la muestra final



Foto 4. Pesaje y etiquetado de las muestras



Foto 5. Ingreso de las muestras al desecador y a la mufla



Foto 6. Secado de las muestras



Foto 7. Pesaje de muestras secas



Foto 8. Trituración de muestras secas



Foto 9. Porcentaje de cenizas



Foto 10. Trituración de la muestra para lectura de pH



Foto 11. Medición de Ph



Foto 12. Construcción de digestores batch



Foto 13. Invernadero para mantener la temperatura



Foto 14. Termohigrómetro para medir la temperatura ambiental



Foto 15. Termometro digital para medir la temperatura dentro del digestor

Anexo 2 *análisis elemental N°1 de las muestras sustrato p ara determinar el contenido de C,N, relación C/N*



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
 Tel: (+503-2) 2976300 / 3938780 Ext: 2151 • Línea directa: (+503-2) 3938864 • Apartado 17-01-2739 • E-mail: cicam@epn.edu.ec
 Quito – Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 20 de diciembre de 2019

DATOS DE CLIENTE

Solicitado por: Bryan Quilamba
 Atención: -
 Dirección: Magdalena
 Identificación de la muestra: -
 Fecha de recolección: 2019-12-16
 Responsable del muestreo: Cliente

No.IRS19-608
 Ref. ST19-224

Teléfono: 0989889941
 Lugar de muestreo: Pedro Moncayo
 Origen de la muestra: Comunidad Morena Párrquia de Toachi
 Tipo de muestra: Compost
 Tipo de envase: Plástico
 Llegó refrigerada: No
 Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: MS-19. 608
 Fecha de ingreso al Laboratorio: 2019-12-16

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
(c) Carbono Orgánico Total	mg/Kg	383400	2019-12-19	PE-25 / SM Ed. 23, 2017, 5310 B / IRND, Combustión
(c) Nitrógeno total (N)	mg/Kg	10875	2019-12-17	Cálculo basado en HPL Ed 7, 2012, 8075, SM Ed. 23, 2017, 4500-NO3-B, SM Ed. 23, 2017, 4500 - NO2- B/ Espectrofotometría VIS
(c) Relación carbono Nitrógeno (CN)	---	35,26	2019-12-20	Cálculo basado en HPL Ed 7, 2012, 8075, SM Ed. 23, 2017, 4500-NO3-B, SM Ed. 23, 2017, 4500 - NO2- B, 5310 B

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Ed: Edición. PE: Procedimiento de Ensayo interno. N/A: No aplica.

ACREDITACIONES:

⁽¹⁾ Acreditación CICAM SAE N° OAE LE 2C 06-012. Alcance específico de la acreditación:
 Mayor información respecto a los métodos, incertidumbres de medición y alcance de la acreditación de los parámetros se encuentra disponible en caso de

NOTA: La incertidumbre de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera.

Anexo 3

Análisis elemental N° 2 de las muestras sustrato para determinar el contenido de C,N, relación C/N



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Riosarte" • Calle Ladón de Guévora E 11-253
Tel: (+593-2) 2976100 / 3918788 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3918864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: vicam@epn.edu.ec
Quito - Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 20 de diciembre de 2019

DATOS DE CLIENTE

Solicitado por: Brayan Quilumba
Atención: -
Dirección: Magdalena
Identificación de la muestra: -
Fecha de recolección: 2019-12-16
Responsable del muestreo: Cliente

No. IRS19-609
Ref. ST19-224

Teléfono: 698988941
Lugar de muestreo: Pedro Moncayo
Origen de la muestra: Comunidad Morosa Parroquia de Toachi
Tipo de muestra: Compost
Tipo de envase: Plástico
Llegó refrigerado: No
Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: MS-19-609
Fecha de ingreso al Laboratorio: 2019-12-16

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANALISIS	PROCEDIMIENTO
(c) Carbono Orgánico Total	mg/Kg	381406	2019-12-19	FE-25 / SM Ed. 23, 2017, 5310 B / IRND, Combustión
⁽⁰¹⁾ Nitrógeno total (N)	mg/Kg	11625	2019-12-17	Cálculo basado en HH, Ed 7, 2012, 8075, SM Ed. 23, 2017, 4500-NO3-B, SM Ed. 23, 2017, 4500 - NO3 - B Espectrofotometría VIS
⁽⁰¹⁾ Relación carbono Nitrógeno (CN)	---	32,81	2019-12-20	Cálculo basado en HH, Ed 7, 2012, 8075, SM Ed. 23, 2017, 4500-NO3-B, SM Ed. 23, 2017, 4500 - NO3 - B, 5310 B

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed. Edición. FE: Procedimiento de Ensayo Interno. N/A: No aplica.

ACREDITACIONES:

⁽⁰⁶⁾ Acreditación CICAM SAE N° OAE LE 2C 06-012. Alcance específico de la acreditación: v
Mayor información respecto a los métodos, incertidumbres de medición y alcance de la acreditación de los parámetros se encuentra disponible en caso de ser

NOTA: La incertidumbre de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera.


Revisado por: Jairo Jimenez
RESPONSABLE TÉCNICO




Aprobado por: MSc. Carolina Fierro
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Anexo 4

Análisis elemental N° 3 de las muestras sustrato para determinar el contenido de C, N, relación CN



ESCUELA POLITECNICA NACIONAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL

Campus Politécnico "José Robín Orellana Ricauro" • Calle Ladrón de Guayara E 11-253
Tel: (+593-2) 2976100 / 3938780 Ext: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec
Quito - Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 20 de diciembre de 2019

DATOS DE CLIENTE

Solicitado por: Brayan Quilumba
Atención: -
Dirección: Magdalena
Identificación de la muestra: -
Fecha de recolección: 2019-12-16
Responsable del muestreo: Cliente

No. IRS19-610

Ref. ST19-224

Teléfono: 0989889941
Lugar de muestreo: Pedro Moncayo
Origen de la muestra: Comunidad Morona Parroquia de Toachi
Tipo de muestra: Compost
Tipo de envase: Plástico
Llegó refrigerada: No
Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: MS-19- 610
Fecha de ingreso al Laboratorio: 2019-12-16

PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
(c) Carbono Orgánico Total	mg/Kg	382000	2019-12-19	PE-25 / SM Ed. 23, 2017, 5310 B / IRND, Combustión
^(d) Nitrógeno total (N)	mg/Kg	10875	2019-12-18	Cálculo basado en SM Ed. 7, 2012, 8975, SM Ed. 23, 2017, 4500-NOI-B, SM Ed. 23, 2017, 4500 - NOI- B/ Espectrofotometría VIS
^(e) Relación carbono Nitrógeno (CN)	-----	35,13	2019-12-20	Cálculo basado en SM Ed. 7, 2012, 8975, SM Ed. 23, 2017, 4500-NOI-B, SM Ed. 23, 2017, 4500 - NOI- B, 5310 B

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Ed: Edición. PE: Procedimiento de Ensayo interno. N/A: No aplica.

ACREDITACIONES:

^(a) Acreditación CICAM SAE N° OAE LE 2C 06-012. Alcance específico de la acreditación:
Mayor información respecto a los métodos, incertidumbres de medición y alcance de la acreditación de los parámetros se encuentra disponible en caso de ser

NOTA: La incertidumbre de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera.

Revisado por: Jairo Jimpikit
RESPONSABLE TÉCNICO



Aprobado por: MSc. Carola Fierro
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Anexo 5

Análisis elemental N° 1 de las muestras inóculo para determinar el contenido de C, N, relación C/N



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL

Campus Politécnico "José Rubén Orfilla Rocasanta" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2153 • Línea directa: (+593-2) 3958864 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@ipe.edu.ec
Quito - Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 20 de diciembre de 2019

DATOS DE CLIENTE

Solicitado por: Brayan Quilamba
Atención: -
Dirección: Magdalena
Identificación de la muestra: -
Fecha de recolección: 2019-12-16
Responsable del muestreo: Cliente

Na. IRS19-611
Ref. ST19-224

Teléfono: 0989889941
Lugar de muestreo: Pedro Mucayo
Origen de la muestra: Comisidad Morena Parroquia de Toachi
Tipo de muestra: Compost
Tipo de envase: Plástico
Llegó refrigerada: No
Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: MS-19- 611
Fecha de ingreso al Laboratorio: 2019-12-16

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANALISIS	PROCEDIMIENTO
(c) Carbono Orgánico Total	mg/Kg	285100	2019-12-19	PE-25 / SM Ed. 23, 2017, 5310 B / IRND, Combustión
^(c) Nitrógeno total (N)	mg/Kg	14250	2019-12-18	Cálculo basado en HH, Ed 7, 2012, 8075, SM Ed. 23, 2017, 4500-NO3-B, SM Ed. 25, 2017, 4500 - NO2 - B/ Espectrofotometría VIS
^(c) Relación carbono Nitrógeno (CN)	-----	20,01	2019-12-20	Cálculo basado en HH, Ed 7, 2012, 8075, SM Ed. 23, 2017, 4500-NO3-B, SM Ed. 25, 2017, 4500 - NO2 - B, 5310 B

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Ed: Edición. PE: Procedimiento de Ensayo interno. N/A: No aplica.

ACREDITACIONES:

^(c) Acreditación CICAM SAE N° OAE LE 2C 06-012. Alcance específico de la acreditación: v
Mayor información respecto a los métodos, incertidumbres de medición y alcance de la acreditación de los parámetros se encuentra disponible en caso de ser

NOTA: La incertidumbre de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera.



Revisado por: Jairo Jargikot
RESPONSABLE TÉCNICO





Aprobado por: MSc. Carola Fierro
RESPONSABLE DE LABORATORIO


Anexo 6

Análisis elemental N° 2 de las muestras inóculo para determinar el contenido de C, N, relación C/N



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL

Campus Politécnico "José Rubén Orellana Ricaurte" • Calle Ladrón de Guayana E 11-253
Tel: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 3151 • Línea directa: (+593-2) 2938894 • Apartado 17-01-2759 • E-mail: cicam@epn.edu.ec
Quito - Ecuador



INFORME DE RESULTADOS

Quito, 20 de diciembre de 2019

DATOS DE CLIENTE

Solicitado por: Brayan Quilumba
Atención: -
Dirección: Magdalena
Identificación de la muestra: -
Fecha de recolección: 2019-12-16
Responsable del muestreo: Cliente

No. IRS19-612
Ref. ST19-224

Teléfono:
Lugar de muestreo: Pedro Moncayo
Origen de la muestra: Comunidad Morona Parroquia de Toachi
Tipo de muestra: Compost
Tipo de envase: Plástico
Llegó refrigerada: No
Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: MS-19- 612
Fecha de ingreso al Laboratorio: 2019-12-16


PARAMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
(c) Carbono Orgánico Total	mg/Kg	287000	2019-12-19	FE-25 / SM Ed. 23, 2017, 5310 B / IRND, Combustión
(c) Nitrógeno total (N)	mg/Kg	14625	2019-12-19	Cálculo basado en HI, Ed 7, 2012, 8075, SM Ed. 23, 2017, 4500-NO3-B, SM Ed. 23, 2017, 4500 - NO2- B/ Espectrofotometría VIS
(c) Relación carbono Nitrógeno (C/N)	-----	19,62	2019-12-20	Cálculo basado en HI, Ed 7, 2012, 8075, SM Ed. 23, 2017, 4500-NO3-B, SM Ed. 23, 2017, 4500 - NO2- B, 5310 B

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed: Edición, PE: Procedimiento de Ensayo interno, N/A: No aplica.

ACREDITACIONES:


(a) Acreditación CICAM SAE N° OAE LE 2C 06-012. Alcance específico de la acreditación y Mayor información respecto a los métodos, incertidumbres de medición y alcance de la acreditación de los parámetros se encuentra disponible en caso de ser

NOTA: La incertidumbre de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera.



Revisado por: Jairo Jimpitik
RESPONSABLE TÉCNICO





Aprobado por: MSc. Carola Fierro
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Anexo 7

Análisis elemental N° 3 de las muestras inóculo para determinar el contenido de C, N, relación C/N



**ESCUELA
POLITÉCNICA
NACIONAL**

**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL
CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y CONTROL AMBIENTAL**

Campus Politécnico "José Rubén Orfilla Ricuarte" • Calle Ladrón de Guevara E 11-253
Tel: (+593-2) 2976300 / 3938780 Ext.: 2151 • Línea directa: (+593-2) 3938164 • Aportado 17-01-2759 • E-mail: cicam@cpna.edu.ec
Quito - Ecuador



CICAM

INFORME DE RESULTADOS

Quito, 20 de diciembre de 2019

DATOS DE CLIENTE

Solicitado por: Brayan Quimbamba
Atención: -
Dirección: Magdalena
Identificación de la muestra: -
Fecha de recolección: 2019-12-16
Responsable del muestreo: Cliente

No. IRS19-613
Ref. ST19-224

Teléfono: 0989889941
Lugar de muestreo: Pedro Moncayo
Origen de la muestra: Comunidad Morona Parroquia de Tonchi
Tipo de muestra: Compost
Tipo de envase: Plástico
Llegó refrigerada: No
Se utilizó preservante: No

LABORATORIO

Número de ingreso al laboratorio: MS-19- 613
Fecha de ingreso al Laboratorio: 2019-12-16

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	FECHA DEL ANÁLISIS	PROCEDIMIENTO
(c) Carbono Orgánico Total	mg/Kg	285300	2019-12-19	PE-25 / SM Ed. 23, 2017, 5310 B / IRND, Combustión
^(c) Nitrógeno total (N)	mg/Kg	15375	2019-12-19	Cálculo basado en HR, Ed 7, 2012, 8075, SM Ed. 23, 2017, 4500-NO3-B, SM Ed. 23, 2017, 4500 - NO2- B/ Espectrofotometría VIS
^(c) Relación carbono Nitrógeno (CN)	-----	18,56	2019-12-20	Cálculo basado en HR, Ed 7, 2012, 8075, SM Ed. 23, 2017, 4500-NO3-B, SM Ed. 23, 2017, 4500 - NO2- B, 5310 B

SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Ed: Edición. PE: Procedimiento de Ensayo interno. N/A: No aplica.


ACREDITACIONES:

^(c) Acreditación CICAM SAE N° OAE LE 2C 06-012. Alcance específico de la acreditación: v
Mayor información respecto a los métodos, incertidumbres de medición y alcances de la acreditación de los parámetros se encuentra disponible en caso de ser

NOTA: La incertidumbre de la medición de este ensayo se encuentra disponible para el cliente, cuando lo requiera.



Revisado por: Jairo Jimpiit
RESPONSABLE TÉCNICO





Aprobado por: MSc. Carula Fierro
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Anexo 8 *Lectura de biogás para la FORSUM*

Día	Producción (ml)
1	0
2	0
3	0
4	0
5	5
6	7
7	10
8	17
9	24
10	29
11	37
12	49
13	58
14	67
15	73
16	80
17	94
18	107
19	123
20	146
21	162
22	173
23	184
24	189
25	196
26	230
27	243
28	243
29	245
30	245
31	243
32	245
33	244
34	246
35	246
36	246
37	245
38	245
39	246
40	246
41	245
42	245
43	246
44	245
45	246
46	243

Figura 21 Lectura de biogás para la FORSUM + EV5%

Día	Producción (ml)
1	0
2	0
3	0
4	3
5	5
6	8
7	15
8	20
9	27
10	34
11	43
12	52
13	65
14	79
15	83
16	96
17	105
18	115
19	137
20	153
21	174
22	186
23	193
24	201
25	215
26	235
27	235
28	256
29	258
30	263
31	264
32	267
33	267
34	269
35	269
36	287
37	287
38	287
39	287
40	289
41	289
42	289
43	287
44	287
45	289
46	289

Anexo 9

Anexo 10 *Lectura de biogás para la FORSUM + EV50%*

Día	Producción (ml)
1	0
2	0
3	0
4	5
5	9
6	17
7	25
8	31
9	39
10	47
11	54
12	68
13	75
14	87
15	99
16	113
17	145
18	157
19	183
20	213
21	247
22	286
23	298
24	298
25	296
26	305
27	305
28	305
29	305
30	335
31	335
32	336
33	334
34	335
35	336
36	334
37	335
38	337
39	339
40	336
41	338
42	335
43	335
44	334
45	334
46	336

Anexo 11 *Lectura de la temperatura dentro de las tres unidades experimentales (FORSUM, FORSUM +5%, FORSUM + EV50%)*

Día	T °C FORSUM	T °C FORSUM +5%	T °C FORSUM + EV50%
1	7,1	7,2	7,1
2	7,8	7,8	7,6
3	7,8	7,8	7,7
4	8,3	8,4	8,6
5	8,4	8,5	8,8
6	9,7	9,6	9,3
7	10,3	10,5	10,8
8	13,7	13,9	13,7
9	17,4	17,6	18,4
10	19,6	19,5	19,3
11	21,7	21,3	20,9
12	25,8	25,9	26,3
13	27,1	27,3	27,9
14	27,9	27,4	27,8
15	28,6	28,3	29,3
16	29,5	29,7	29,8
17	30,1	29,9	31,1
18	29,9	30,1	30,5
19	32,4	30	31,7
20	30,6	29,3	32,3
21	30,5	31,1	30,4
22	30,5	29,4	29,9
23	30,7	30,1	31,5
24	29,4	29,9	30,1
25	29,6	29,8	28,9
26	29,1	28,1	29,6
27	31,2	29,5	30,3
28	31,2	30,7	31,2
29	30,1	31,4	30,4
30	29,4	29,9	29,5
31	29,6	30,4	31,1
32	29,4	31,1	30,3
34	29,9	27,5	26,1
35	29,7	26,5	30,2
37	29,2	30,3	30,2
38	28,6	28,1	30,3
39	28,3	30,1	28,0
40	28,6	30,0	29,9
41	29,7	29,7	29,7
42	29,0	29,0	29,0
43	29,3	28,4	28,3
44	29,8	27,8	27,8
45	28,4	27,9	28,4
46	28,2	27,3	29,3

Anexo 12 *Lectura del pH de las tres unidades experimentales (FORSUM, FORSUM +5%, FORSUM + EV50%)*

Semana	FORSUM	FORSUM + EV5%	FORSUM + EV50%
1	7	7	7
2	6,8	6,9	6,9
3	6,8	6,7	6,7
4	6,8	6,7	6,6
5	7	6,6	6,8
6	6,9	6,8	6,9
7	6,7	6,6	6,8

Anexo 13 *Relación Carbono/Nitrógeno del sustrato e inóculo (FORSUM, Estiércol)*

Repetición	Detalle	Carbono g/kg	Nitrógeno g/kg	Relación
EV1	Estiércol vacuno	383,4	10,88	35,26
EV2	Estiércol vacuno	381,4	11,63	32,81
EV3	Estiércol vacuno	382	10,88	35,13
RS1	Residuo sólido	285,1	14,25	20,01
RS2	Residuo sólido	287	14,63	19,62
RS3	Residuo sólido	285,3	15,38	18,56

Anexo 14 *Análisis de la varianza de un solo factor*

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
FORSUM	46	6958	151,2608696	9913,308213
FORSUM + EV5%	46	7759	168,673913	12460,00242
FORSUM + EV50%	46	9716	211,2173913	18119,55169

Anexo 15 *Promedio de cuadrados, valores de F y F crítica para comprobación de hipótesis*

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	87521,84058	2	43760,920	3,242121	0,0421438	3,063203
Dentro de los grupos	1822178,804	135	13497,620			
Total	1909700,645	137				

Anexo 16 *Correlacion de Person*

FORSUM		FORSUM + EV5%		FORSUM + EV50%	
T °C digestor 1	Produccion (ml)	T °C digestor 2	Produccion (ml)	T °C digestor 3	Produccion (ml)
7,1	0	7,2	0	7,1	0
7,8	0	7,8	0	7,6	0
7,8	0	7,8	0	7,7	0
8,3	0	8,4	3	8,6	5
8,4	5	8,5	5	8,8	9
9,7	7	9,6	8	9,3	17
10,3	10	10,5	15	10,8	25
13,7	17	13,9	20	13,7	31
17,4	24	17,6	27	18,4	39
19,6	29	19,5	34	19,3	47
21,7	37	21,3	43	20,9	54
25,8	49	25,9	52	26,3	68
27,1	58	27,3	65	27,9	75
27,9	67	27,4	79	27,8	87
28,6	73	28,3	83	29,3	99
29,5	80	29,7	96	29,8	113
30,1	94	29,9	105	31,1	145
29,9	107	30,1	115	30,5	157
32,4	123	30	137	31,7	183
30,6	146	29,3	153	32,3	213
29,6	196	29,8	215	28,9	296
29,1	230	28,1	235	19,6	305
31,2	243	29,5	235	30,3	305
31,2	243	30,7	256	31,2	305
30,1	245	31,4	258	30,4	305
29,4	245	29,9	263	29,5	335
29,6	243	30,4	264	31,1	335
29,4	245	31,1	267	30,3	336
30,1	244	29,5	267	27,2	334
29,9	246	27,5	269	26,1	335
29,7	246	26,5	269	30,2	336
30	246	30,1	287	28,6	334
29,2	245	30,3	287	30,2	335
28,6	245	28,1	287	30,3	337
28,3	246	30,1	287	28,0	339
28,6	246	30,0	289	29,9	336
29,7	245	29,7	289	29,7	338
29,0	245	29,0	289	29,0	335
29,3	246	28,4	287	28,3	335
29,8	245	27,8	287	27,8	334
28,4	246	27,9	289	28,4	334
28,2	243	27,3	289	29,3	336
R	0,78726973	R	0,77424973	R	0,75913737
	0,61979363		0,59946264		0,57628954