UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

SISTEMA PILOTO DE BIOESTABILIZACIÓN DE HECES FECALES DE MASCOTAS (PERROS) Y MATERIAL VEGETAL SECO EN LA CIUDADELA“VALDIVIA IV”- CIUDAD GUAYAQUIL.

TRABAJO EXPERIMENTAL

Trabajo de titulación presentado como requisito para la obtención del título de

INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR
ANDRADE SOLÓRZANO DIEGO ANTHONY

TUTOR
ING. MUÑOZ NARANJO DIEGO IVÁN

GUAYAQUIL – ECUADOR

2020

UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, MUÑOZ NARANJO DIEGO IVÁN, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **SISTEMA PILOTO DE BIOESTABILIZACIÓN DE HECES FECALES DE MASCOTAS (PERROS) Y MATERIAL VEGETAL SECO EN LA CIUDADELA"VALDIVIA IV"-CIUDAD GUAYAQUIL.**, realizado por el estudiante ANDRADE SOLÓRZANO DIEGO ANTHONY; con cédula de identidad N°0804024867 de la carrera INGENIERÍA AMBIENTAL, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

ING. MUÑOZ NARANJO DIEGO IVÁN

Guayaquil, 26 de Agosto del 2020

UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE NGENIERIA AMBIENTAL

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: "**SISTEMA PILOTO DE BIOESTABILIZACIÓN DE HECES FECALES DE MASCOTAS (PERROS) Y MATERIAL VEGETAL SECO EN LA CIUDADELA"VALDIVIA IV"- CIUDAD GUAYAQUIL.**", realizado por el estudiante ANDRADE SOLÓRZANO DIEGO ANTHONY, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

_____
Dra. Tamara Borodulina
PRESIDENTE

_____
Blgo. Raúl Arizaga Gamboa
EXAMINADOR PRINCIPAL

_____
Ing. Diego Arcos Jácome
EXAMINADOR PRINCIPAL

_____
Ing. Diego Muñoz Naranjo
EXAMINADOR SUPLENTE

Guayaquil, 26 de Agosto del 2020

Dedicatoria

El presente trabajo lo dedico primordialmente a mis padres: Ramón y Fátima por darme ese impulso de siempre salir adelante, a mis hermanos Alejandro y Karen que me sirvieron de inspiración, a los docentes por su arduo trabajo como formadores de criterio, a mis compañeros y a quienes me ayudaron a llegar donde he llegado, a todos y cada uno de ustedes gracias por sus consejos y palabras de aliento. Mis triunfos siempre llevaran sus nombres.

Agradecimiento

Agradezco a la universidad por la oportunidad que me dio para formarme en sus instalaciones, también agradezco especialmente al Ing. Carlos Banchón Bajaña, M.Sc. y al Ing. Diego Muñoz Naranjo por su colaboración en mi tema de tesis, agradezco a mis padres por el apoyo que me dieron durante los años de estudio, agradezco a mis compañeros de clase ya que formaron parte de mi vida y ahora los llevaré en mi mente.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo ANDRADE SOLÓRZANO DIEGO ANTHONY, en calidad de autor del proyecto realizado, sobre “SISTEMA PILOTO DE BIOESTABILIZACIÓN DE HECES FECALES DE MASCOTAS (PERROS) Y MATERIAL VEGETAL SECO EN LA CIUDADELA“VALDIVIA IV”- CIUDAD GUAYAQUIL” para optar el título de Ingeniero Ambiental, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autor me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, Agosto 26 del 2020

ANDRADE SOLÓRZANO DIEGO ANTHONY

C.I. 0804024867

Índice general

PORTADA 1

APROBACIÓN DEL TUTOR 2

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN 3

Dedicatoria 4

Agradecimiento 5

Autorización de Autoría Intelectual 6

Índice general 7

Índice de tablas 11

Índice de figuras 12

RESUMEN 14

ABSTRACT 15

1. INTRODUCCIÓN 16

1.1 Antecedentes del problema 16

1.2 Planteamiento y formulación del problema 18

1.2.1 Planteamiento del problema 18

1.2.2 Formulación del problema 20

1.3 Justificación de la investigación 20

1.4 Delimitación de la investigación 21

1.5 Objetivo general 21

1.6 Objetivos específicos 22

2. Marco teórico 23

2.1 Estado del arte 23

2.2 Bases teóricas 26

2.2.1. Biodigestor 26

2.2.2. Compostaje 26

2.2.3. Biogás.....26

2.2.4. Digestión anaerobia.....27

2.2.5. Fases de la digestión anaerobia y producción de biogás.....27

2.2.6. Composición bioquímica de las heces caninas 29

2.2.7. Relación carbono – nitrógeno (C/N) 29

2.2.8. Biodigestor discontinuo.....30

2.2.9. Temperatura y periodo de retención 31

2.2.10. Bacterias anaerobias (Metanogénicas) 31

2.3 Marco legal.....33

2.3.1. Constitución de la República del Ecuador (2016).....33

2.3.2. Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021.....34

2.3.3. Economía al servicio de la Sociedad:.....34

2.3.4. Más sociedad, mejor Estado:.....34

3. Materiales y métodos..... 35

3.1 Enfoque de la investigación.....35

3.1.1 Tipo de investigación 35

3.1.2 Diseño de investigación..... 35

3.2. Metodología..... 36

3.2.1. Variables..... 36

3.2.1.1. Variable independiente..... 36

3.2.1.2. Variable dependiente..... 36

3.2.2. Tratamientos..... 36

3.2.3. Diseño experimental 37

3.2.3.1. Diseño completamente al azar..... 38

3.2.4. Recolección de datos 38

3.2.4.1. Recursos 39

3.2.4.2. Métodos y técnicas 39

3.2.4.2.1. Tiempo de retención 39

3.2.4.2.2. Volumen del biodigestor 39

3.2.4.2.3. Relación carbono nitrógeno 40

3.2.4.2.4. Medición de gas 41

3.2.4.2.5. Técnicas de aislamiento de bacterias anaerobias 41

3.2.5. Análisis estadístico 42

3.2.5.1. Estadística descriptiva 42

3.2.5.2. Diagrama de barras 42

3.2.5.3. Estadística inferencial (Kruskal- Wallis) 42

3.2.5.3.1. Prueba de Kruskal-Wallis 42

4. RESULTADOS 44

4.1. Determinación de la tasa de generación de residuos fecales de mascotas en las calles, aceras y parques de la ciudadela Valdivia IV de la ciudad de Guayaquil 44

4.2. Producción de biogás ($CH4$) mediante la construcción a escala piloto de un biodigestor para excreta de perros y material vegetal seco. 45

4.2.1. Volumen del biodigestor 45

4.2.2. Tratamiento 1 46

4.2.3. Tratamiento 2 47

4.2.4. Tratamiento 3 48

4.2.5. Tratamiento 4 49

4.3. Cuantificación de la producción de biogás ($CH4$) y biomasa a partir de Ecobalances para el uso como alternativa energética. 50

4.3.1. Tratamiento 1 50

4.3.2. Tratamiento 2 51

4.3.3. Tratamiento 3 52

4.3.4. Tratamiento 4 53

Prueba de Kruskal Wallis 55

5. DISCUSIÓN 56

6. CONCLUSIONES 59

7. RECOMENDACIONES 60

8. Bibliografía 61

9. Anexos 69

..... 69

Índice de tablas

Tabla 1: Equivalencia de biogás con los combustibles habituales 25

Tabla 2: Composición de gases del biogás..... 27

Tabla 3.Relación carbono nitrógeno (C/N) de los compuestos a usarse en la biodigestión..... 30

Tabla 4. Parámetros óptimos para la producción de biogás..... 30

Tabla 5. Microorganismos anaerobios encontrados en diferentes rangos de temperatura. 32

Tabla 6. Microorganismos anaerobios encontrados en diferentes rangos de pH. 32

Tabla 7. Tratamientos elaborados para el diseño experimental de la bioestabilización de las excretas de perros. 37

Tabla 8. Tiempos de retención según la región de instalación. 39

Tabla 9: Milímetros (ml) de biogás producido en cada tratamiento (tabla guía). . 43

Tabla 10: Porcentaje de materia orgánica recolectada (heces caninas) 44

Tabla 11: Resultados de producción de biogás (ml de agua desplazada)..... 50

Tabla 12: Biomasa inicial y final tratamiento 1. 51

Tabla 13: Biomasa inicial y final tratamiento 2. 52

Tabla 14: Biomasa inicial y final tratamiento 3. 53

Tabla 15: Biomasa inicial y final tratamiento 4. 54

Tabla 16: Milímetros de (ml) de agua desplazada 55

Tabla 17: cálculo de normalidad en infoStad. 55

Tabla 18: prueba de Kruskal Wallis- infoStad. 55

Tabla 19. Tabla de registro de tasa de producción de excreta de perros. 69

Tabla 20. Recursos materiales 70

Índice de figuras

Figura 1: Tasa de producción de heces caninas en periodo de 7 días 44
Figura 2: Porcentaje de composición del biodigestor. 46
Figura 3: Porcentaje de insumos de tratamiento 1. 47
Figura 4: Porcentaje de insumos de 2 tratamiento 48
Figura 5: Composición del tratamiento 3**.** 49
Figura 6: Composición del tratamiento 4 49
Figura 7: Resultados producción de biogás (tratamiento 1). 51
Figura 8: Resultados de producción de biogás (tratamiento 2). 52
Figura 9: Resultados de producción de biogás (tratamiento 3). 53
Figura 10: Resultados de producción de biogás (tratamiento 4). 54
Figura 11: Comparación de tratamientos. 54
Figura 12: Área de cobertura del proyecto. 69
Figura 13: Método de medición de gases mediante desplazamiento de agua. ... 69
Figura 14: Fases de construcción de biodigestor. 71
Figura 15: Recolección de heces de perro en la ciudadela Valdivia IV. 72
Figura 16: Recolección de heces, ciudadela Valdivia IV. 73
Figura 17: Recolección de césped en la Universidad Agraria del Ecuador. 74
Figura 18: Recolección de hojas secas. 75
Figura 19: Pesado de componentes. 76
Figura 20: Prototipo de biodigestor de 60 litros. 77
Figura 21: Estero salado, zona de recolección de lodo. 78
Figura 22: Preparación de proceso de digestión anaerobia. 79
Figura 23: Homogenización de biomasa, mezcla de heces de perro, césped y agua. 80

Figura 24: Inicio de tratamiento. 81

Figura 25: Medición de biogás por desplazamiento de agua. 82

Figura 26: Biomasa final (compost) 83

Figura 27: Proceso de digestión, tratamiento 2. 84

Figura 28: Recolección de lodo (bacterias metanogénicas). 85

Figura 29: Biol, resultado de bioestabilización de heces de perro. 86

Figura 30: Prueba de fuego (apertura de válvula de salida de gas). 87

Resumen

El objetivo de este trabajo es evaluar la producción de biogás a partir de bioestabilización de materia orgánica (excreta de perro, y material vegetal seco) por medio de la digestión anaerobia en un prototipo de biodigestor tipo batch. Es una investigación cuantitativa según su enfoque, con un nivel de profundidad según su tipología: documental y experimental. Los instrumentos utilizados fueron: un digestor anaerobio, barreno para recolección de lodo, balanza y medidor de pH. Los resultados muestran que la biomasa evaluada es óptima para la producción de biogás siempre y cuando los parámetros que caracterizan la digestión anaerobia (relación C/N 20:1 a 30:1, relación solidos/líquidos 60/40, temperatura ambiente 30ºC y pH neutro 6-7) sean adecuados para dicho proceso, esto se logra construyendo un biodigestor con características técnicas apropiadas. Se concluye que los parámetros evaluados dan pauta a que se pueden mejorar las condiciones del proceso anaerobio utilizando biomasa por lo que es un tema que abarca un abanico de posibilidades e inclusive proyectos piloto en zonas rurales debido a que las condiciones climáticas del país son tropicales y favorecen la implementación de esta tecnología ya que a mayor temperatura, se produce una mayor degradación del material orgánico generando ventajas en cuanto al tiempo de retención y volumen del sistema de digestión.

Palabras clave: biodigestor, bioestabilización, biogás, biomasa, digestión anaerobia.

Abstract

The objective of this work is to evaluate the production of biogas through the bio-stabilization of organic matter (dog excreta, and dry plant material) by means of anaerobic digestion in a prototype batch-type biodigestor. It is a quantitative research according to its approach, with a level of depth according to its typology: documentary and experimental. The instruments used were: an anaerobic digester, bore for sludge collection, balance and pH meter. The results show that the biomass evaluated is optimal for biogas production as long as the parameters that characterize anaerobic digestion (ratio C/N 20:1 to 30:1, ratio solid/liquid 60/40, ambient temperature 30ºC and pH neutral 6-7) are suitable for this process, this is achieved by building a biodigestor with appropriate technical characteristics. It is concluded that the parameters evaluated provide a guideline that the conditions of the anaerobic process can be improved using biomass and therefore it is a topic that covers a range of possibilities and even pilot projects in rural areas because the climatic conditions of the countries are tropical and favor the implementation of this technology because at higher temperatures, there is a greater degradation of the organic material generating advantages in terms of retention time and volume of the digestion system.

Keywords: biodigestor, bio-stabilization, biogas, biomass, anaerobic digestion.

1. Introducción

1.1 Antecedentes del problema

La contaminación de los suelos debido a heces fecales de perros es un problema de magnitud considerable, como lo indican las tasas de infestación del suelo con huevos de *T. canis* registradas en Londres, Inglaterra, 6.3%; Marche, Italia, 26.2%; Tokushima, Japón, 87.5%; Connecticut, Estados Unidos de América, 14.4% Dublín, Irlanda, 32%; Bratislava, Eslovaquia, 18.7% (Martínez et al., 2008). En Alaska, se estima que 20 millones de libras de excrementos de perro se producen cada año (Rippy, Stalzer & Michaud, 2005).Un perro de tamaño promedio, es decir, unos 15 kilos, defeca diariamente cerca de 600 gramos de excremento; esto significa un total de 18 kilos al mes, de los que la mayoría son heces que no son recogidas o provienen de animales en situación de calle (Barrionuevo, 2018).

Los perros pueden alojar bacterias y parásitos incluyendo patógenos dañinos como *E coli*, Giardia, salmonella y *T. canis* (Un solo gramo contiene un estimado de 23 millones de bacterias) (Freinkel, 2014). Una hembra de *T. canis* puede producir hasta 200 000 huevos al día, formas parasitarias que sobreviven fácilmente debido a su gruesa cobertura (Bojar & Kłapeć, 2012). En parques y áreas públicas verdes ubicadas en las ciudades de Roma y Padua (Italia), mostraron que el 15,6% de los dueños de mascotas no retiraron los depósitos de heces de perros del terreno, con algunas diferencias entre las ciudades investigadas (13.5% y 16.9%, respectivamente) (Traversa et al., 2014).

Las enfermedades diarreicas son la segunda mayor causa de muerte de niños menores de cinco años, y ocasionan la muerte de 525 000 niños cada año (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2017). Las dos causas más frecuentes de diarrea moderada a grave son los rotavirus y *Escherichia coli*, las cuales podemos

encontrar en las heces de los perros. Casi todos los perros (99%) albergaban una o más especies zoonóticas (que puede transmitirse entre animales y seres humanos) de parásitos gastrointestinales, siendo la infección por anquilostomas (nematodos que afectan el intestino delgado y los pulmones) la más común (94%), se considera que las etapas parasitarias son específicas del hospedador para humanos como *Ascaris spp.* (31%), *Trichuris trichiura* (25%) e *Isospora belli* (2%) (Robertson et al., 2002).

El can doméstico es el principal animal de compañía encontrado en hogares y su población se encuentra en aumento, principalmente en los países en vías de desarrollo, donde la legislación sobre control y tenencia responsable es débil o nula (FAO, 2011). México tiene la mayor población canina en América Latina, se calcula que solo en la CDMX (Ciudad de México) nacen anualmente alrededor de 150 mil perros en situación de calle (Durand, 2016).

Según datos estadísticos del sector veterinario del Ecuador existe una población canina de 2,313,542 perros (E. M. Á. Parra, 2013). Asumiendo que el comportamiento respecto de la tenencia de mascotas del país se mantiene a nivel local, o sea que, aproximadamente el 44% de los hogares tienen una mascota, supondría 387,500 mascotas en las ciudades de Guayaquil y Samborondón en el año 2015 (Betancourt, 2015).

La contaminación del agua subterránea por materias fecales caninas conlleva un peligro de propagación de patógenos y bacterias resistentes a los antibióticos, que pueden provocar un problema ambiental y de salud pública (Martí-Herrero, 2015). Tan solo dos o tres días de deshechos de cien perros aportan suficientes bacterias, nitrógeno y fósforo para cerrar 20 millas de la cuenca de una playa para nadar y extraer moluscos (Becker, 2016).

Los espacios públicos urbanos constituyen un lugar de recreación para los habitantes de la ciudad, la contaminación biológica de estos espacios con materia fecal canina contiene formas parasitarias infectantes por lo cual es un factor de riesgo para niños y adultos.

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

Las heces de las mascotas (residuos orgánicos) en pavimentos, parques, tierras erosivas y calles (lugares públicos) es un problema social de gran importancia a nivel mundial. Se estima que la contaminación del suelo con huevos de Toxocara (género de nematodos ascarídidos que secundariamente afectan al ser humano) puede ser superior al 90% de las áreas investigadas en todo el mundo (Antolová et al., 2004). Existe un factor de riesgo permanente que es la falta de la crianza responsable de los caninos en casas y sobre todo en la zonas rurales, donde los caninos reciben como alimento las vísceras crudas en el campo o los desperdicios de la basura de las ciudades más grandes (Amaya et al., 2016). La cantidad de huevos que contaminan el ambiente depende de la cantidad de heces producidas por los perros propios y vagabundos y de la extensión que abarque la eliminación de las heces por parte de los propietarios (Epe, 2009).

El parasito *T. canis* es un nematodo común de perros, y la infección humana es por ingestión de huevos embrionados (Surgan et al., 1980). La infección es más común en los niños 1-4 años, y se asocia frecuentemente con pica (trastorno de la ingestión y de la conducta alimentaria) (Snyder, 1948). La infección en humanos está ampliamente ligada no solo a la infección en perros, sino también a la contaminación de espacios de esparcimiento, como parques (Chávez et al., 2011).

Se estima que el 70% de la población mundial al momento de realizar un paseo matutino lo ejecuta con sus mascotas (solo el 30% recoge los desperdicios fisiológicos que desecha su mascota (Altozano, 2017). Dejando consigo un problema medioambiental, las excretas de las mascotas quedarían visibles, en exposición de sol, lluvia, y viento provocando contaminación realmente preocupante.

En la ciudadela Valdivia IV de la ciudad de Guayaquil actualmente se evidencia este problema de contaminación por excreta de las mascotas que genera afectación socio ambiental. Se trata de un residuo infeccioso que, además de ser principalmente transmisor de enfermedades que afectan la salud de los seres humana y animales, también afecta a otros aspectos como los ambientales pues estos residuos son fuente de malos olores, efectos visuales, provoca conflictos entre vecinos, favorece el florecimiento de moscas, e incluso contaminación de acuíferos subterráneos como lo indica un "estudio realizado por la Inspección Geológica de EE.UU. (USGS) sobre arroyos y riachuelos en la región de Kansas City, se demostró que aproximadamente un cuarto de las bacterias infecciosas presentes en las muestras recogidas en las vías fluviales locales eran bacterias asociadas con los desechos de mascotas"(MARC, 2018). El problema objeto del presente estudio se refiere a las heces de las mascotas que no son recogidas por los dueños, y también las que generan los perros en situación de abandono. Este problema genera como oportunidad de estudio su aprovechamiento por tanto en el presente trabajo se implementará un sistema de bioestabilización del cual se espera que producirá biogás a partir de la biodegradación de las heces de mascotas, mediante la acción de microorganismos (bacterias metanogénicas).

1.2.2 Formulación del problema

De acuerdo con la problemática planteada sobre las excretas de las mascotas que contaminan el medio, específicamente en la ciudadela Valdivia IV de la ciudad de Guayaquil, se propone la bioestabilización de heces de perros con un biodigestor anaerobio para producir biogás mediante la biodegradación de la materia orgánica y por acción de los microorganismos (bacterias metanogénicas). Teniendo en cuenta lo antes mencionado, se cuestiona lo siguiente:

¿Cuál es la eficiencia de producción de biogás a partir de la biodegradación anaerobia de excretas de perro y material vegetal seco?

1.3 Justificación de la investigación

En muchas ciudades del mundo, es habitual llevar a los perros a parques y lugares públicos para que éstos defequen, lo cual conlleva a una contaminación de estas zonas (R. Pérez et al., 2003). Los lugares que tienen más contaminación son los parques y áreas verdes. Los niños son considerados la población más susceptible, por entre otras cosas, llevar a cabo prácticas de geofagia (ingesta de tierra) (Iannacone et al., 2012). Por esta razón, lo ideal para evitar la propagación parasitaria en el suelo, es retirar las materias fecales periódicamente, de no ser así, los parásitos pueden alcanzar su estadio infectante en 2-5 semanas, lo cual incrementa el riesgo para las personas (Castillo et al., 2000). El impacto de la infección humana por *Toxocara* larval (enfermedad de los humanos causada por larvas del gusano redondo del perro) en la infancia se demuestra por los cientos de casos de ceguera y daño ocular que se calcula que se producen anualmente en los EEUU (Glickman & Schantz, 1981).

La contaminación de suelo con parásitos zoonóticos en las zonas urbanas de las ciudades del Ecuador han sido un tema poco abordado y la información que se

presenta ha sido muy escasa. El desconocimiento de la situación ha limitado a las instituciones públicas responsables de generar políticas y normativas para el uso de los parques y el manejo de las mascotas.

Debido al creciente problema que produce en la ciudadela la Valdivia IV con la contaminación de las excretas de las mascotas, se realiza la implementación de un sistema de bioestabilización de heces y material vegetal seco. Ya que está demostrado que la formación de metano y dióxido de carbono corresponde a la última etapa de una serie de reacciones en las cuales los compuestos orgánicos son degradados completamente (M. Díaz et al., 2002). Con este proyecto también se pretende reciclar materia orgánica, convertirla en compost y reducir en un 50% el volumen de residuos.

La ejecución de este proyecto es pertinente a Ingeniería Ambiental, ya que por medio de la implementación del biodigestor se le dará una disposición adecuada y responsable a los residuos generados por las mascotas lo que permitirá mitigar los focos de contaminación que afectan al ser humano y su entorno.

1.4 Delimitación de la investigación

Espacio: El proyecto se desarrolla en la ciudadela Valdivia IV, con coordenadas Latitud 2°14'39.6"S, longitud 79°53'36.7"W / UTM -2.244627, -79.893290 (Ver Anexo **Figura 1**).

Tiempo: 3 meses

1.5 Objetivo general

Implementar un sistema piloto para bioestabilización de heces fecales de mascotas (perros) y material vegetal seco en la ciudadela “Valdivia IV” ciudad Guayaquil.

1.6 Objetivos específicos

- Determinar tasa de generación de residuos fecales de mascotas en las calles, aceras y parques de la ciudadela Valdivia IV de la ciudad de Guayaquil.
- Producir biogás (CH_4) mediante la construcción a escala piloto de un biodigestor para excreta de perros y material vegetal seco.
- Cuantificar la producción de biogás (CH_4) y biomasa a partir de Ecobalances para el uso como alternativa energética.

1.7 Hipótesis

Con la implementación de un biodigestor anaerobio que utilice residuos orgánicos (excreta de perros y material vegetal seco) se producirá biogás como fuente de energía alterna.

2. Marco teórico

2.1 Estado del arte

Mediante la utilización de biodigestores a través de la fermentación anaerobia de estiércol se produce gas metano (CH_4) (S. J. O. Parra, 2015). El biogás es cada vez más una atractiva fuente de energía en muchos países del mundo (Cerdá, 2012). Se ha encontrado que las bacterias en el proceso de digestión agotan el carbono presente 30 a 35 veces más rápido que la velocidad a la que convierten el nitrógeno, por lo tanto, para la operación óptima, la proporción de carbono y nitrógeno, debe ser de aproximadamente 30: 1 en la materia prima. (Richard, 1992), y se pueden usar aditivos como estiércol, lodos de depuración de aguas residuales (biosólidos), tabiques y urea como fuente de nitrógeno suplementario (Hilkiah Igoni et al., 2008).

En el proceso de bioestabilización de los residuos orgánicos se debe tener en cuenta factores que influyen en el desempeño de la producción de biogás (Medina & Reina, 2016). Como lo indica un previo trabajo realizado en la Universidad de la Salle en el cual se tomó en cuenta la temperatura que es un factor importante ya que altera el rendimiento del proceso de tratamiento biológico y por tanto la actividad metabólica de los microorganismos (Peña & Malagón, 2007). Para mayor eficiencia en la producción del biogás (CH_4) es necesario contar con un pH entre 6.7 y 7.5, si este es muy ácido la acción de las bacterias metanogénicas se inhibe y aumenta la proporción de gas carbónico en el biogás (CH_4) (Peña & Malagón, 2007). Entre las recomendaciones que se presentan en la mayoría de las investigaciones esta; la necesidad de utilizar residuos orgánicos (hojas secas, césped) con el fin de compensar las carencias que tiene el sustrato, controlando la etapa mesofílica y termofílica, que es donde se produce la mayor cantidad de metano (Palma, 2015).

En Colombia se realizó la construcción y evaluación de un biodigestor tipo batch para la producción de biogás a partir del aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos o de alimentos que podrán ser aprovechados, en el proceso se establece dar seguimiento a la biodigestión de los residuos orgánicos, donde se controlaron una serie de parámetros como pH, temperatura, demanda química de oxígeno (DQO), sólidos totales (ST) y producción de gas (Cuní, 2011). Se aplicó la digestión anaerobia y se encontró que el rendimiento en la producción de biogás está sujeto a una mezcla adecuada de sustrato- consustrato (200 gramos de residuo de poda y 200 gramos de residuos de alimentos) (González, 2016).

Mediante una investigación conjunta entre el departamento de termodinámica de la facultad de ingeniería de la universidad Nacional del Nordeste y la Universidad Tecnológica Nacional General Pacheco en la ciudad de Buenos Aires- Argentina, especialistas pudieron demostrar cómo las heces de animales domésticos (perros) pueden ser aprovechados para la generación de biogás. El objetivo es conocer el posible aprovechamiento de los excrementos de los animales domésticos en la vía pública para el uso en la generación de biogás, combustible formado por metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y pequeñas cantidades de hidrogeno (H) que podría ser usado para la calefacción, cocción de alimentos y generación de energía eléctrica (Hilbert, 2018). Se utilizó un biodigestor plástico de carga única tipo batch de 20 litros de capacidad, se cargó el biodigestor con 730 gramos de heces de perros alimentados con balanceado y también con agua, este proceso físico-químico es complejo, tarda varios días (15-20), es gradual y depende de varios factores, como la temperatura, el pH y el tipo de materia orgánica (Díaz, 2007). El resultado de aquella prueba fue una producción de 55,58 gramos de biogás por cada kilo de excreta

canina, ‘‘este valor se considera satisfactorio ya que el insumo (excreta de perro) es abundante y gratis’’ (Toledo, 2011).

Dependiendo del porcentaje en la composición de materia orgánica en la que como resultado se obtiene el metano, el valor calorífico de este puede variar de 5,000 a 7,000 kcal por metro cúbico. Este poder el valor calorífico puede alcanzar 12,000 kcal por metro cúbico una vez eliminado todo el gas mezcla carbónica (Deganutti & Tavares, 2002a).

Traduciendo en términos prácticos, se presenta una relación comparativa de $1\mathrm{m}^3$ metro cúbico de equivalencia de biogás (CH_4) con los combustibles habituales:

Tabla 1: Equivalencia de biogás con los combustibles habituales

1 m^3 metro cúbico de biogás corresponde a:
0,61 litros de gasolina
0,57 litros de querosene
0,55 litros de óleo diesel
0,45 kg de gas liquefeito
0,79 litros de alcohol combustible
1,538 kg de leña
1,428 KW/h de energía eléctrica

(Deganutti & Tavares, 2002b)

Un estudio realizado en la Universidad de Guayaquil determinó la presencia de microorganismos aerobios y anaerobios en los sedimentos del fondo del estero salado, en la determinación de presencia por el método del número más probable (Nmp) se encontró que en el mes de octubre, el puente de Miraflores presentó un promedio de 2.4 x 106, en el puente de Albán Borja 1.6 x 106 y en el puente de Urdesa 4.5 x 103 Nmp/100mL. En el mes de diciembre, en el puente de Miraflores se

presentó un promedio de 2.35 x 106 , en el puente de Albán Borja 1.8 x 106 y en el puente de Urdesa 4.2 x 103 Nmp/100Ml (Mariscal-Santi et al., 2018).

2.2 Bases teóricas

2.2.1. Biodigestor

Es un contenedor el cual está herméticamente cerrado, libre de oxígeno y dentro del cual se acumulan residuos orgánicos vegetales o excremento de animales (Exceptuando los cítricos ya que éstos acidifican). Mediante un proceso natural de bacterias (anaerobias) presentes en los excrementos descomponen el material contenido y lo transforman en metano y en fertilizante (A. C. L. Pérez, 2017).

2.2.2. Compostaje

Es la descomposición o transformación controlada del material orgánico. El resultado de la descomposición de residuos orgánicos de cocina, residuos de jardín y excreta animal es el compost o humus, un oscuro acondicionador del suelo rico en nutrientes (Misra, 2003).

2.2.3. Biogás

Gas que se genera por las reacciones de biodegradación de materia orgánica, mediante la acción de microorganismos (bacterias metanogénicas, etc.), y otros factores, en ausencia de oxígeno (ambiente anaeróbico). El producto resultante es una mezcla compuesta por metano (CH_4) en una proporción que oscila entre un 40% a un 70% y dióxido de carbono (CO_2), conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno (H_2), nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2) y sulfuro de hidrógeno (H_2S) (OAS, 2018).

Tabla 2: Composición de gases del biogás

Componentes	% de volúmenes
Metano	55-65
Dióxido de Carbono	34-45
Nitrógeno	0-3
Hidrógeno	0-1
Sulfuro de Hidrógeno	0-1

Vera, 1996

2.2.4. Digestión anaerobia

La digestión anaeróbica es un proceso biológico y degradativo en el cual los materiales orgánicos de un substrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogás, el cual es una mezcla de dióxido de carbono y metano otros elementos en bajas proporciones. En la digestión anaerobia más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano (CH_4), consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aeróbico, de esta forma, los residuos orgánicos se transforman en biogás (Varnero, 2011).

2.2.5. Fases de la digestión anaerobia y producción de biogás

El proceso de metanogénesis inicia con la hidrólisis aquí se descomponen las moléculas más complejas, como proteínas, hidratos de carbono y lípidos, los cuales son hidrolizados por enzimas producidas por los microorganismos fermentadores (Corrales et al., 2015). De esta descomposición se generan compuestos solubles como aminoácidos, azúcares y ácidos grasos de cadena larga, que pueden ser descompuestos por bacterias acidogénicas. Producto de la acción de las bacterias acidogénicas se generan ácidos grasos de cadena corta, alcoholes, hidrógeno y dióxido de carbono, siendo los ácidos grasos de cadena corta transformados por los microorganismos acetogénicos en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono. En

la última etapa de la metanogénesis, las bacterias producen metano a partir del hidrógeno, dióxido de carbono y ácido acético (Grothusen, 2014).

En el proceso de biodigestión anaerobia se distinguen cuatro etapas o fases:

- Hidrólisis

Involucra las enzimas, mediadoras de la transformación de materiales orgánicos solubles y componentes más grandes de masa molecular como lípidos, polisacáridos, proteínas, grasas y ácidos nucleicos, entre otros. Este paso es llevado a cabo por anaerobios estrictos como bacteroides, clostridium y bacterias facultativas como estreptococci. Esta primera etapa es muy importante debido a que grandes moléculas orgánicas son demasiado grandes para ser absorbidas y utilizadas directamente por los microorganismos como sustrato/fuente de alimento (Adekunle & Okolie, 2015).

- Acidogénesis

Los monómeros producidos en la fase hidrolítica son absorbidos por diferentes bacterias facultativas y obligatorias, se degradan en ácidos orgánicos de cadena corta como ácido butírico, propiónico, acético, hidrógeno y dióxido de carbono. En general, durante esta fase, azúcares simples, ácidos grasos y aminoácidos son convertidos en ácidos orgánicos y alcoholes (Arango & Sanches, 2009).

- Acetogénesis

Los productos obtenidos en la fase acidogénica se consumen como sustratos para los demás microorganismos. Los productos que no pueden ser directamente convertidos a metano por las bacterias metanogénicas son convertidos en sustratos metanogénicos, ácidos grasos volátiles y alcoholes los cuales son oxidados en sustratos metanogénicos como acetato, hidrógeno y dióxido de carbono, AGV con cadenas de carbono largas son oxidadas en acetato e hidrógeno (Adekunle & Okolie, 2015).

- Metanogénesis

El acetato, H2 y CO2 son transformados en CH4 por dos tipos de microorganismos: *metanógenos acetotróficos* utilizando acetato como sustrato y produciendo 70 % de metano en la digestión anaeróbica como *Methanosaeta concilii* o *Methanosarcina acetivorans* y *Metanógenos hidrogenotrófico* utilizando CO_2 e H_2 como sustratos, tales como *Metanobacterium bryantii* o *Metanobrevibacter arboriphilus* (Cazier et al., 2015).

2.2.6. Composición bioquímica de las heces caninas

Las heces de perro contienen aproximadamente 0.7% de nitrógeno, 0.25% de fosfato y 0.02% de potasio. Como resultado, las heces de los perros no son un fertilizante para plantas particularmente bueno ya que contienen patógenos, así como Toxoplasma (Jaber & Al-Mukhtar, 2012).

2.2.7. Relación carbono – nitrógeno (C/N)

Es un valor que nos facilita saber si la composición de la biomasa es adecuada para la digestión de las bacterias metanogénicas. El carbono es utilizado por las bacterias metanogénicas como fuente de energía mientras que el nitrógeno es utilizado para la reproducción o formación de nuevas células. Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que la relación óptima de estos dos elementos en la materia prima está a un rango de 30:1 hasta 20:1. En la **Tabla 3** se indica la relación carbono nitrógeno de los compuestos que se usarán en el proceso de biodigestión del presente proyecto.

Tabla 3.Relación carbono nitrógeno (C/N) de los compuestos a usarse en la biodigestión.

Compuestos	Relación carbono nitrógeno C/N
Césped (*Bermuda Cynodon dactylon*)	14:1
Hojas secas	41:1
Excreta de perro	17:1

Kanyfels, 2017

2.2.8. Biodigestor discontinuo

Son contenedores cerrados que una vez cargados y sellados no permiten extraer o añadir más sustratos hasta que finalice el proceso de biodegradación y producción de biogás. El proceso finaliza cuando no se produce más biogás que es cuando las bacterias metanogénicas consumen el carbono disponible en el sistema. Este tipo de digestores admiten mayor carga de materiales poco diluidos, el requerimiento de agua es menor que en los sistemas continuos resultando en una ventaja en cuanto a recursos. Otro aspecto a favor es que no son afectados por presencia de material pesado como tierra o arena (Jayr, 2009). Los rangos óptimos de los parámetros para la producción de biogás en el biodigestor se indican en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Parámetros óptimos para la producción de biogás.

Parámetro	Rango óptimo
Temperatura ºC	30-35
pH	6.8-7.5
Relación C/N	20-30
Tiempo de retención (días)	10-25
Relación agua solidos	6-10

Andrade, 2019

2.2.9. Temperatura y periodo de retención

La temperatura de la mezcla en el digestor es un factor importante para la operatividad del proceso de digestión. La mayoría de las bacterias anaeróbicas se desarrollan mejor en el rango de 30 a 35 ºC por lo que esta es la temperatura óptima para la producción de biogás. La temperatura en el tanque digestor siempre debe estar por encima de 20ºC, a temperaturas menores se produce poco biogás y por debajo de 10ºC no se produce degradación por lo que la producción de metano es nula (Hilbert, 2016).

El tiempo de retención corresponde al tiempo que las bacterias requieren para degradar la materia orgánica. Es un parámetro de diseño importante para establecer el volumen total del biodigestor. La velocidad de degradación depende en gran parte de la temperatura; a mayor temperatura, menor es el tiempo de retención para conseguir una buena producción de biogás (Pachón, 2017).

2.2.10. Bacterias anaerobias (Metanogénicas)

Las bacterias metanogénicas son microorganismos procariontes que viven en medios anaerobios y que obtienen energía consumiendo el carbono de la materia orgánica biodegradable disponible en el proceso liberan gas natural (metano CH_4) (Steinhaus et al., 2007). Las bacterias se ven condicionadas por factores físicos y químicos, que viabilizan su adecuado desarrollo, estos factores son: carga de materia orgánica, ácidos grasos, alcalinidad, temperatura, nutrientes y presencia de nitrógeno (N) y fósforo (P). La presencia de materia orgánica y la temperatura son fundamentales para el metabolismo de las bacterias, este último aspecto (temperatura) es un factor condicionante en las interacciones biológicas y de supervivencia de las bacterias. A diferentes temperaturas podemos encontrar el florecimiento de distintos microorganismos anaerobios como lo indica la **Tabla 5**.

Tabla 5. Microorganismos anaerobios encontrados en diferentes rangos de temperatura.

Rango de temperatura en °C	Tipo de microorganismo	Microorganismos encontrados
10-15	Psicrófilos	*Bacillus spp*
20-30	Psicrótrofos	*Clostridium spp*
30-37	Mesófilos	*Clostridium spp* *Methanococcus spp* *Methanobacterium spp*
42-46	Termótrofos	*Methanococcus spp* *Methanobacterium spp* *Clostridium spp*
50-80	Termófilos	*Lactobacillus spp* *Thermus spp* *Thermococcus spp*

Pachón, 2017

Otro factor importante es el pH (Ver **Tabla 6**) el cual influye en el crecimiento bacteriano, casi todas las bacterias muestran un crecimiento óptimo en un intervalo de pH de 6.5 – 7.5 (Corrales et al., 2015).

Tabla 6. Microorganismos anaerobios encontrados en diferentes rangos de pH.

pH	Tipo de microorganismo	Microorganismos encontrados
1.1 - 5.5	Acidófilos	*Lactobacillus spp* *Bifidobacterium bifidum*
5.5 - 8.0	Neutrófilos	*Clostridium perfringes* *Methanococcus sp* *Methanobacterium sp* *Propionibacterium acidipropionici*
8.5 - 11.5	Alcalonófilos	*Clostridium botulinum* *Clostridium sporongenes* *Clostridium tetani* *Fusobacterium spp* *Micrococcus spp*

Kanyfels, 2018

2.3 Marco legal

2.3.1. Constitución de la República del Ecuador (2016)

La Constitución de la República del Ecuador, tiene bien definido el derecho que tiene todo ciudadano de vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación, estableciendo las restricciones al ejercicio de determinados derechos y libertades, para la protección del medio ambiente, quedando indicado.
Capitulo II, derechos del buen vivir, sección II, **Art. 14.-** se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético el país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de os espacios naturales degradados.
Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua. Se prohíbe el desarrollo, producción, tenencia, comercialización, importación, transporte, almacenamiento y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, de contaminantes orgánicos persistentes altamente tóxicos, agroquímicos internacionalmente prohibidos, y las tecnologías y agentes biológicos experimentales nocivos y organismos genéticamente modificados perjudiciales para la salud humana o que atenten contra la soberanía alimentaria o los ecosistemas, así como la introducción de residuos nucleares y desechos tóxicos al territorio nacional.
Capítulo VII, derechos de la naturaleza, **Art. 71.-** La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.
Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observaran los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda.
El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.
Art.74.- Las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que les permitan el buen vivir.
Capítulo II, biodiversidad y recursos naturales, Sección I, Naturaleza Y Ambiente, **Art.395.-** La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales: El estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.
Sección VII, biósfera, ecología urbana y energías alternativas, **Art. 413.-** El estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientales limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio eclógico de los ecosistemas ni el desecho de agua.

2.3.2. Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021

Él (Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021, 2017) se sustenta en dos pilares principales: la sustentabilidad ambiental y el desarrollo territorial. Está organizado en tres Ejes y nueve Objetivos Nacionales:

Derechos para todos durante toda la vida: cada persona está sujeta a derechos y sin ningún tipo de discriminación y el Estado debe estar en condiciones de garantizarlos. Para alcanzarlo, se proponen tres objetivos:

1. Garantizar una vida digna con iguales oportunidades para todos los individuos.
2. Reafirmar la interculturalidad y plurinacionalidad, revalorizando las diversas identidades.
3. Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y las futuras generaciones.

2.3.3. Economía al servicio de la Sociedad:

El sistema económico es social y solidario, y la economía está al servicio de la población para garantizar sus derechos. Objetivos que apuntan a ello:

4. Consolidar la sostenibilidad del sistema económico social y solidario, y afianzar la dolarización.
5. Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sustentable de forma redistributiva y solidaria.
6. Desarrollar las capacidades productivas y del entorno para lograr la soberanía alimentaria y el desarrollo rural integral.

2.3.4. Más sociedad, mejor Estado:

Un Estado cercano a la ciudadanía es incluyente, brinda servicios públicos de calidad y con calidez. Para lograrlo propone:

7. Incentivar una sociedad activa y participativa, con un Estado cercano al servicio de la ciudadanía.
8. Promover la transparencia y la corresponsabilidad para una nueva ética social.
9. Garantizar la soberanía y la paz, y posicionar estratégicamente al país en la región y el mundo.

M.I. MUNICIPALIDAD DE GUAYAQUIL, ORDENANZA DE APOYO A LA PROTECCIÓN INTEGRAL DE LOS ANIMALES DE COMPAÑÍA, CAPÍTULO II, OBLIGACIONES Y PROHIBICIONES.

Art. 4.- Obligaciones de los titulares de animales de compañía.- Los titulares de animales de compañía tienen el deber de cumplir las siguientes obligaciones:

1. Responder por los daños y perjuicios que el animal ocasione a un tercero, sea en la persona o en los bienes, así como a otros animales, sin perjuicio de las responsabilidades establecidas en el Código Orgánico Integral Penal;
2. Recoger las deposiciones de los animales de compañía en sus paseos o tránsito por las veredas, caminos, espacios públicos y vías públicas en general. Tales deposiciones no podrán ser arrojadas en tales lugares, so pena de las responsabilidades correspondientes.

Art. 6.- Medidas sanitarias.- La persona responsable como titular o tenedor de un animal de compañía deberá adoptar las medidas necesarias para impedir que éste ensucie las vías y los espacios públicos y, en caso de que esto ocurra, debe proceder a limpiar dicha vía o espacio (Guayaquil, 2019).

3. Materiales y métodos

3.1 Enfoque de la investigación

Este anteproyecto se basó en un análisis cuantitativo, ya que se evaluó el desempeño que tiene el biodigestor para producir biogás con excretas de perros, hojas secas, césped, y lodo (como cultivo iniciador de bacterias metanogénicas).

3.1.1 Tipo de investigación

Documental: Consistió en la selección y recopilación de información por medio de la lectura, crítica de documentos y materiales bibliográficos, de bibliotecas y centros de documentación e información.

Este estudio se apoyó en fuentes bibliográficas, libros, revistas, tesis, documentos en línea, y experimentos relacionados, de manera que se obtuvo un amplio conocimiento del tema de estudio, y en qué forma influyen la composición y dosificación en la producción del biogás.

Experimental: La Investigación fue realizada con un enfoque científico, donde un conjunto de variables se mantuvieron constantes, mientras que el otro conjunto de variables se midió como sujeto del experimento.

Este estudio se basó en la experimentación. Con el sustento de la información sobre teorías y experimentos realizados, se lleva a cabo la bioestabilización y producción de biogás a partir de heces de perro, hojas secas, césped y lodo obtenido del Estero Salado.

3.1.2 Diseño de investigación

El proyecto de investigación fue experimental debido a que se implementó un sistema de bioestabilización de excreta de perro y se evaluó la producción de biogás que se generó con la biodegradación anaeróbica en el digestor, luego se concluyó el proyecto con el análisis de los resultados mediante análisis estadísticos.

3.2. Metodología

3.2.1. Variables

Según el tipo de investigación, se incluyeron las siguientes variables:

3.2.1.1. Variable independiente

- Excreta de perro kg/semana
- Hojas secas kg/ kg excreta de perro
- Césped kg/ kg excreta de perro
- Lodo del Estero Salado (gr)
- Temperatura ºC
- Humedad %
- C-N (carbono- nitrógeno)
- Tiempo de retención (días)

3.2.1.2. Variable dependiente

- Producción de biogás (ml)

3.2.2. Tratamientos

En el proyecto se ejecutaron 4 tratamientos (Ver **Tabla 7**) donde se cambiaron las dosis de los insumos en este caso: lodo, césped, hojas secas y heces que tuvieron variables distintas para cada tratamiento. También existieron constantes expresados con k; como el tiempo de retención para la biodegradación que fue de 15 días. La relación carbono nitrógeno fue de 30:1 (C/N) y el porcentaje de humedad en un 60%. Ya que en los tratamientos las dosis de la materia orgánica varió se obtuvo producción de biogás distinta para cada reactor. Al finalizar el proceso de producción de biogás se realizó una comparación y se analizó los datos para concluir cuál tratamiento es el más afectivo.

Tabla 7. Tratamientos elaborados para el diseño experimental de la bioestabilización de las excretas de perros.

Tratamiento #1	Tratamiento #2	Tratamiento #3	Tratamiento 4
Variable independiente			
t= 15 días C/N= 20-30 Agua= 60%	t= 15 días C/N=20-30 Agua= 60%	t= 15 días C/N=20-30 Agua= 60%	t= 15 días C/N=20-30 Agua= 60%
Temperatura = 31-24 ºC	Temperatura = 31-24 ºC	Temperatura = 31-24 ºC	Temperatura = 31-24 ºC
Variables			
Lodo= (gramos) Heces= (kg)	Césped= (kg) Heces= (kg)	Lodo= (gramos) Césped= (kg) Hojas secas= (kg) Heces= (kg)	Heces= (kg)

Andrade, 2020

Debido a que aún no se conocía el volumen total de producción de heces de perros en la ciudadela “Valdivia IV” no se incluyeron los valores de las dosis en las variables de la tabla. Las excretas son la principal materia orgánica biodegradable para la producción de biogás y se necesitó conocer su volumen de producción. Sin previo conocimiento de estos datos tampoco se podía estimar el volumen de las otras variables ya que la dosificación es dependiente de la cantidad de heces generadas.

3.2.3. Diseño experimental

Para llevar a cabo el proyecto se usó un biodigestor tipo batch discontinuo ya que este tipo de digestores permiten mayor carga de materia orgánica poco diluida, el requerimiento de agua es menor y este sistema no se ve afectado por la presencia de tierra o arena.

3.2.3.1. Diseño completamente al azar

Se definen los tratamientos (**t)** que se van a aplicar a las (**n)** unidades experimentales, de tal forma que a (**r)** unidades experimentales les va a corresponder un tipo de tratamiento.

En un diseño completamente al azar, la hipótesis nula es que los efectos de tratamientos (β) son todos iguales, lo que se expresa por:

$$H0 : \beta 1 = \beta 2 = \beta 2 \ldots..$$

La hipótesis alterna es que hay al menos un efecto de tratamiento que es diferente a los demás.

3.2.4. Recolección de datos

La obtención de datos fue desde el lugar de origen, se realizó la recolección de excretas diariamente, se registraron los datos en una tabla (Ver Anexo **Tabla 10**) y al finalizar el periodo de recolección que duró 7 días se calculó la producción mensual de heces de perros, esto permitió calcular el volumen del digestor para la bioestabilización.

Para la obtención de césped se aprovechó las podas mensuales que se realizan en la Universidad Agraria del Ecuador, ya que hasta el momento no se realiza ningún uso y no son aprovechados.

De la misma manera se realizó la recolección de las hojas secas, aprovechando el deshoje de los árboles que se encuentran dentro de la institución.

El lodo se obtuvo del estero salado ya que las bacterias metanogénicas se encuentran en este tipo de hábitats. El transporte del lodo se hizo en recipientes sellados para evitar la entrada de oxígeno y, luego fueron introducidas en el biodigestor para que así inicie el proceso de bioestabilización y producción de metano.

3.2.4.1. Recursos

Se detallan los materiales que se utilizaron en el proyecto de investigación ver Anexo (**Tabla 11**).

3.2.4.2. Métodos y técnicas

3.2.4.2.1. Tiempo de retención

El tiempo de retención del material a biodegradar para producir biogás fue de 15 días (Ver **Tabla 8**), ya que el objetivo fue comprobar cuanto biogás se produce con la bioestabilización de heces caninas, una vez alcanzado el punto máximo de producción de biogás que fue a los 15 días se suspendió el tratamiento, para posteriormente realizar un nuevo tratamiento donde las variables cambiaron.

Tabla 8. Tiempos de retención según la región de instalación.

Región característica	Temperatura ºC	Tiempo de retención
Tropical	30	20
Valle	20	30
Altiplano	10	60

Pachón, 2017

3.2.4.2.2. Volumen del biodigestor

A partir de los datos obtenidos en la etapa de investigación se presentan la estimación del volumen total (vt) del biodigestor, para este cálculo se usó el método que se basa en la guía de diseño y manual de instalación para biodigestores familiares de Jaime Martí. El volumen total del biodigestor es la suma del volumen liquido (materia orgánica biodegradable) (vl) y el volumen gaseoso (vg) (Martí, 2008).

$$V_T = V_L + V_G$$

El biodigestor se llenó un 75%, ya que en el proceso de biodegradación de la materia orgánica se genera biogás por lo que es necesario dejar un espacio para su almacenamiento que corresponde al 25% (García, 2018).

El volumen del líquido (V_L) (materia orgánica biodegradable) corresponde al 75% del V_T:

$$V_L = V_T * 0{,}75$$

El volumen del gas (V_G) corresponde al 25% del V_T:

$$V_G = V_T * 0{,}25$$

El (V_L) se calculó a partir de la carga diaria (CD) y el tiempo de retención (RT)

$$V_L = (CD + (3 * CD)) * TR$$

Donde:

CD= carga diaria de heces expresada en volumen

(3*CD)= cantidad de agua en volumen que se debe agregar a la mezcla

TR= tiempo de retención

Para calcular CD se utiliza la masa y el peso específico de la biomasa

$$CD = \frac{m_{heces}}{\rho_{heces}}$$

3.2.4.2.3. Relación carbono nitrógeno

En términos generales, la relación C/N óptima que debe tener el material "fresco o crudo" que se utilice para iniciar la digestión anaeróbica fue de 30 unidades de carbono por una unidad de nitrógeno, es decir, C/N = 30/1.

La relación C/N de la mezcla se calculó aplicando la siguiente formula (Martí-Herrero, 2015).

$$K = \frac{C1 * Q1 + C2 * Q2 + \ldots Cn * Qn}{N1 * Q1 + N2 * Q2 + \ \ldots Nn * Qn}$$

Donde:

K = C/N de la mezcla de materias primas.

C = % de carbono orgánico contenido en cada materia prima.

N = % de nitrógeno orgánico contenido en cada materia prima.

Q = Peso fresco de cada materia, expresado en kilos o toneladas.

3.2.4.2.4. Medición de gas

Para estimar la producción de biogás se usó el método de desplazamiento de agua que consiste en conectar la válvula de salida de biogás hacia una probeta graduada, a medida que el gas ingresa este desplaza el agua contenida en la probeta, al finalizar la medición en el tiempo determinado se calcula el volumen de agua desplazado lo que se traduce como el volumen total de biogás generado (Matimena, 2018) (Ver Anexo **Figura 2**).

Se realizarán 5 tomas de muestra en los 15 días que dura cada uno de los tratamientos, esto con la finalidad de obtener datos de producción de biogás que serán usados en el análisis estadístico para determinar la prueba de hipótesis.

3.2.4.2.5. Técnicas de aislamiento de bacterias anaerobias

Los microrganismos anaerobios no utilizan oxígeno en su metabolismo, para la recolección y transporte de las muestras fue indispensable tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

3.2.4.2.6. Transporte de muestras

Los microorganismos (lodo) se aislaron de los efectos nocivos del oxígeno atmosférico durante el tiempo que transcurre entre la extracción y la siembra anaeróbica de la muestra. La primera y más efectiva medida fue “correr” ya que en ninguna otra ocasión como está el aislamiento es fundamental (Rivas & Mota, 2002). Las muestras (lodo) fueron introducidas en el sistema de bioestabilización para que inicie el proceso de metanogénesis.

3.2.5. Análisis estadístico

3.2.5.1. Estadística descriptiva

Se organizó, presentó y describió los datos obtenidos en los tratamientos para determinar que diseño es el más óptimo para la producción de biogás.

3.2.5.2. Diagrama de barras

Permitieron representar y comparar gráficamente los datos obtenidos de la producción de biogás.

3.2.5.3. Estadística inferencial (Kruskal- Wallis)

Se plantearon las siguientes hipótesis:

- Hipótesis nula (H_0) $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$, todos los tratamientos producen la misma cantidad de biogás.
- Hipótesis alternativa (H_a): al menos un tratamiento es diferente.

3.2.5.3.1. Prueba de Kruskal-Wallis

- La escala ordinal de la media es requerida.
- Es una alternativa del ANOVA unidimensional.
- La distribución de ji-cuadrada es el estadístico de prueba.
- Cada muestra debe tener por lo menos cinco observaciones.
- Los datos de la muestra se ordenan de mayor a menor como si fuera un solo grupo (Zúñiga, 2015).

Fórmula:

$$H = \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^{k} \frac{R_i^2}{n_i} - 3(N+1)$$

Donde, N es el total de datos, por lo tanto su valor es 20, ya que se realizan 5 muestras en cada uno de los 4 tratamientos.

Y n (5) es el número de muestras realizadas en cada tratamiento.

Tabla 9: Milímetros (ml) de biogás producido en cada tratamiento (tabla guía).

Número de muestras	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
1	ml	ml	ml	ml
2	ml	ml	ml	ml
3	ml	ml	ml	ml
4	ml	ml	ml	ml
5	ml	ml	ml	ml
Total	R	R	R	R

Andrade, 2020

Se realizaron 4 tratamientos y las variables cambiaron en cada tratamiento por lo cual la producción de biogás fue diferente, debido a esto, se usó la estadística inferencial la cual permitió realizar la comparación entre los tratamientos (**ver tabla 7**) para obtener conclusiones que permitieron hacer deducciones sobre la totalidad del biogás producido basándose en la información numérica de la muestra. Estas deducciones tomaron la forma de respuestas a preguntas de sí/no (prueba de hipótesis) (Andrew, 1998).

4. Resultados

4.1. Determinación de la tasa de generación de residuos fecales de mascotas en las calles, aceras y parques de la ciudadela Valdivia IV de la ciudad de Guayaquil

La recolección de heces se realizó en la ciudadela Valdivia IV de la ciudad de Guayaquil (ver anexo, figura 15) en un periodo de 7 días se obtuvo 34.1 libras de heces (**ver tabla 10**).

Tabla 10: Porcentaje de materia orgánica recolectada (heces caninas)

Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Total
6.5 libras	6.3 libras	5.2 libras	4.1 libras	4.4 libras	4.3 libras	3.3 Libras	34.1 libras
(2.95 kg)	(2.86 kg)	(2.36 Kg)	(1.86 Kg)	(2 Kg)	(1.95 Kg)	(1.5 kg)	(15.5 kg)

Andrade, 2020

Estos datos permitieron calcular el volumen total del biodigestor.

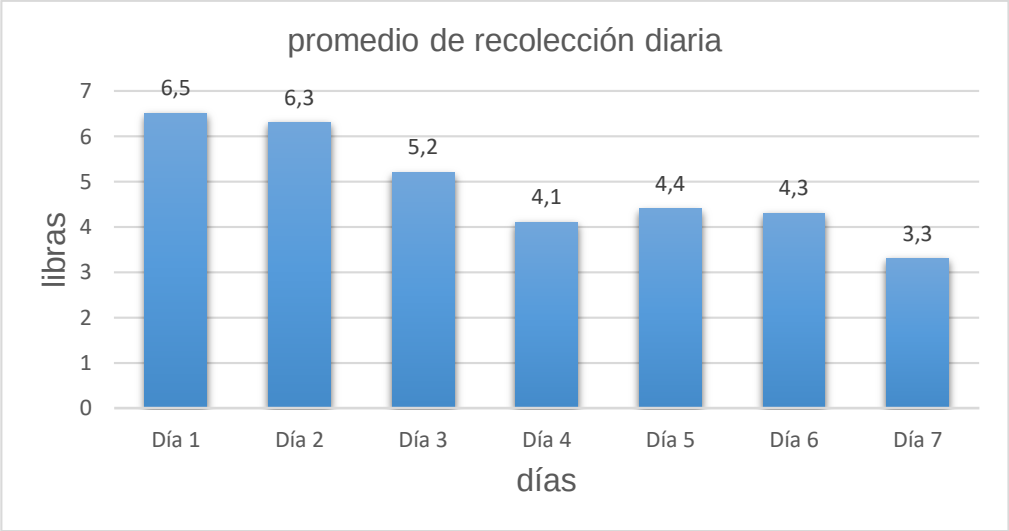

Figura 1: Tasa de producción de heces caninas en periodo de 7 días
Andrade, 2020

4.2. Producción de biogás (CH_4) mediante la construcción a escala piloto de un biodigestor para excreta de perros y material vegetal seco.

Para producir biogás primero se construyó el biodigestor, este sistema consiste en un tanque cerrado sin infiltración de oxígeno y una salida para el gas (ver anexo **figura 14**). Para la construcción se usó un tanque plástico de 60 litros, se colocó una manivela con una hélice en el interior el cual permitió mezclar el contenido, se le coloco una llave de paso que sirvió como salida para el biogás para su posterior medición. En el interior las bacterias metanogénicas encuentran un entorno favorable, degradan la materia orgánica y en el proceso producen gas metano (biogás).

4.2.1. Volumen del biodigestor

Se calculó a partir de los 15.5 kilos recolectados durante los 7 días (ver tabla 10) y sabiendo que el 25% del volumen total del biodigestor se sebe dejar vacío y del 75% sobrante; el 60% equivale a agua y el 40% a sólidos (relación solidos-líquidos 40/60), además se tomó en cuenta que cada tratamiento contiene más insumos a parte de las heces (ver anexo figura 17).

Cálculos:

Del 100% del volumen de un tanque de 50 litros el 25% es un espacio vacío.

$$\%\ vacio\ = \frac{25\ \%\ \times 50}{100} = 12.5\ litros$$

El 75% restante contiene sólidos y agua.

$$porcentaje\ de\ llenado\ del\ sistema = \frac{75\ \%\ \times 50}{100} = 37.5\ litros$$

El 75% (37.5 litros) se dividió para contener la relación agua-sólidos que equivale a 40-60.

$$porcentaje\ de\ agua = \frac{60\ \%\ \times 37.5\ lt}{100\ \%} = 22.5\ litros\ de\ agua$$

$$porcentaje\ de\ solidos = \frac{40\ \%\ \times 37.5\ lt}{100\%} = 15\ litros \rightarrow 15\ kg$$

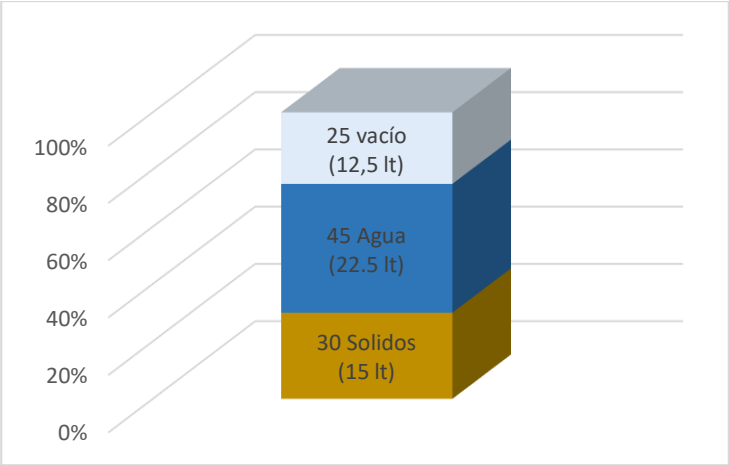

Figura 2: Porcentaje de composición del biodigestor.
Andrade, 2020

Se suman los resultados del cálculo de los porcentajes; con lo que se obtiene el volumen total del sistema.

$$12.5\ lt\ (vacio) + 22.5\ lt\ (agua) + 15\ lt\ (solidos) = 50\ lt\ capacidad$$

Construido el biodigestor y conseguidos todos los insumos se inició con los tratamientos.

4.2.2. Tratamiento 1

Se introdujo 15.5 kg de excreta de perro y 0.40 kg de lodo (bacterias metanogénicas) extraídas del estero salado con un barreno, se agregaron 22.5 litros de agua y se prosiguió a cerrar biodigestor. Mediante una manivela se agitaron los insumos durante 3 minutos para homogeneizarlos. El tratamiento duró 15 días y se mantuvo a una temperatura ambiente (30ºC- 32ºC), días en los cuales la materia orgánica dentro del biodigestor pasó por el proceso de degradación en el cual se produjo gas metano. Se tomaron 5 muestras de biogás; una cada 3 días de los 15 días que duró el tratamiento.

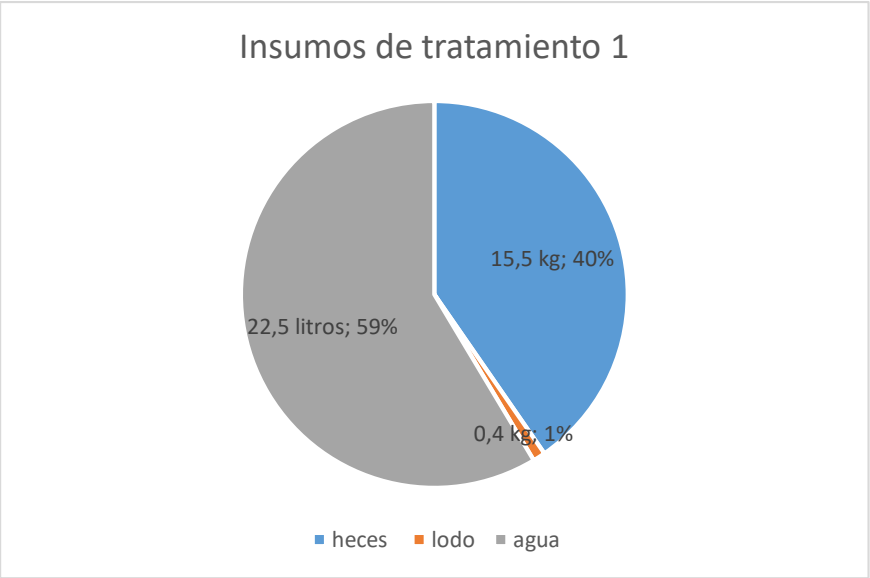

Figura 3: Porcentaje de insumos de tratamiento 1.
Andrade, 2020

Además se calculó la relación carbono nitrógeno de los insumos del proceso de biodigestión, El carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas y su relación óptima según autores es de 16:1-25:1.

$$C/N = \frac{17 \times 15.5\ kg + 15 \times 0.5\ kg}{1 \times 15.5\ kg + 1 \times 0.5\ kg} = 16.94$$

4.2.3. Tratamiento 2

En el segundo tratamiento se evaluó la mezcla de medidas diferentes para los insumos, por lo cual, se recolectó 10.3 kg de heces, se agregaron 4.7 kg de césped y 22.5 litros de agua, se mezclaron dentro del biodigestor y se selló durante un periodo de tiempo de 15 días a una temperatura ambiente (Ver anexo figura 24), se tomó muestras de producción cada 3 días y los valores se tabularon (ver tabla 11, tratamiento 2).

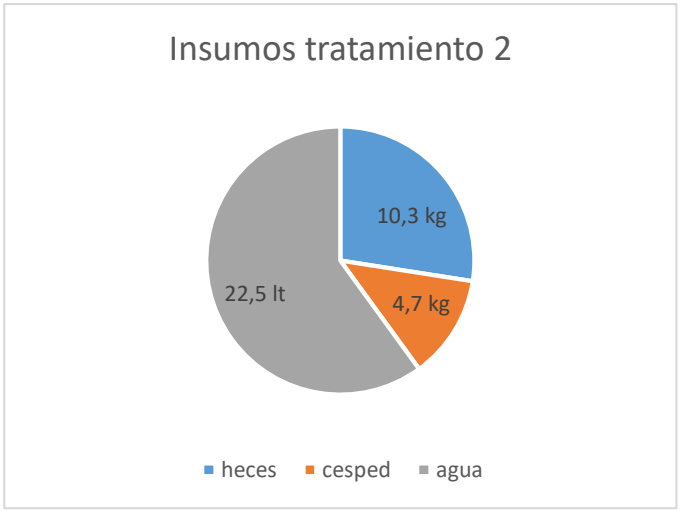

Figura 4: Porcentaje de insumos de 2 tratamiento
Andrade, 2020

Calculo de la relación carbono- nitrógeno del tratamiento 2:

$$C/N = \frac{17 \times 10.3\ kg + 14 \times 4.7 kg}{1 \times 10.3\ kg + 1 \times 4.7\ kg} = 16.06$$

4.2.4. Tratamiento 3

Se usó lodo, césped, hojas secas, heces y 22.5 lt de agua. De los 15 kg de solidos que debe contener el biodigestor se recolecto 9.09 kg de heces lo que deja una diferencia de 5.91 kg que se dividió para las hojas, el césped y el lodo. Los insumos se promediaron tratando de obtener una relación carbono/nitrógeno favorable para las bacterias (20-30). Se cerró el biodigestor durante 15 días y se mantuvo a una temperatura ambiente, se tomaron valores de producción de biogás cada 3 días y se tabularon (ver tabla 11, tratamiento 3).

Porcentaje de insumos usados:

- Heces: 9.09 kg
- Hojas secas: 3.46 kg
- Césped: 2 kg
- Lodo: 0.45 kg

Calculo de relación carbono- nitrógeno del tratamiento 3.

$$C/N = \frac{17 \times 9.09\ kg + 14 \times 2 + 15 \times 0.45 + 41 \times 3.46\ kg}{1 \times 9.09\ kg + 1 \times 2\ kg + 1 \times 0.45 + 1 \times 3.46} = 22.07$$

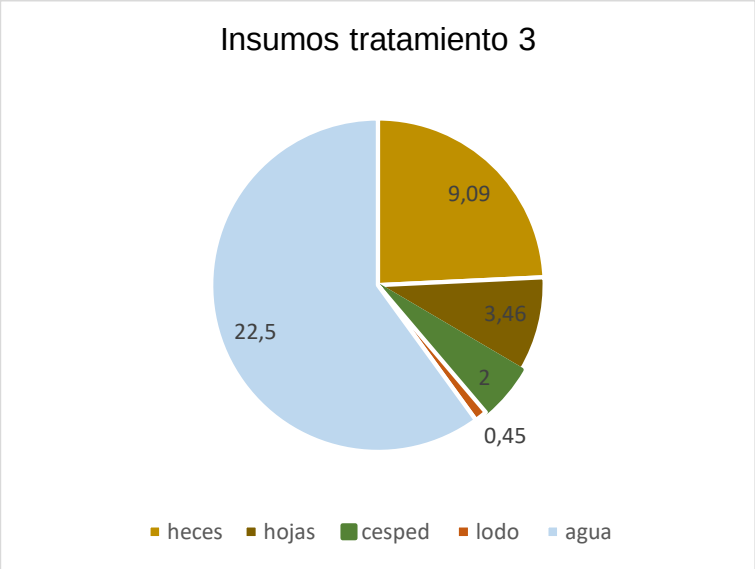

Figura 5: Composición del tratamiento 3.
Andrade, 2020

4.2.5. Tratamiento 4

Se recolecto 10.5 kg de heces de perro, para el cual se usó 18 litros de agua con el fin de cumplir la relación solidos-agua (40-60). En este tratamiento se evaluó el potencial de producción de metano únicamente de las excretas de perro.

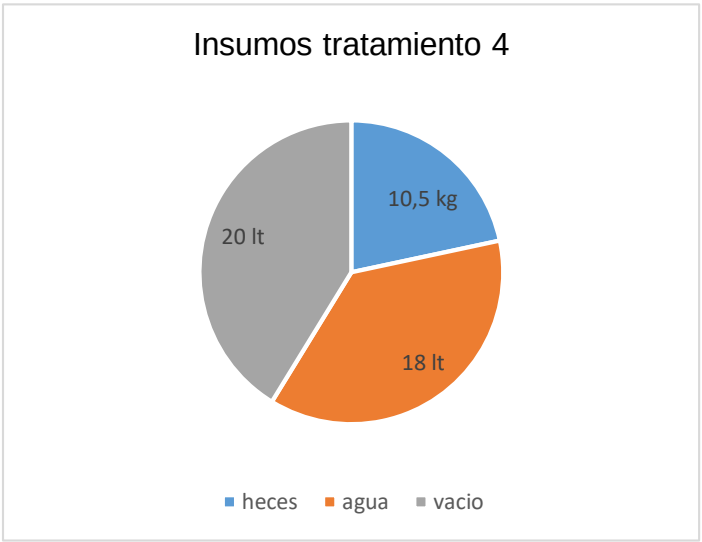

Figura 6: Composición del tratamiento 4
Andrade, 2020

Calculo de la relación carbono/ nitrógeno:

$$C/N\,\frac{17 \times 10.5\ kg}{1 \times 10.5\ kg} = 17$$

4.3. Cuantificación de la producción de biogás (CH_4) y biomasa a partir de Ecobalances para el uso como alternativa energética.

Se realizaron 4 tratamientos de los cuales se tomó 5 medidas de gas producido (muestras), 1 cada 3 días, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 11: Resultados de producción de biogás (ml de agua desplazada).

Número de muestras	Tratamiento 1	Tratamiento 2	Tratamiento 3	Tratamiento 4
Día 3	98 ml	87 ml	65 ml	105 ml
Día 6	227 ml	203 ml	152 ml	232 ml
Día 9	491 ml	417 ml	294 ml	503 ml
Día 12	965 ml	798 ml	591 ml	995 ml
Día 15	1720 ml	1413 ml	1147 ml	1781 ml
Total	3501 ml	2918 ml	2249 ml	3616 ml

Andrade, 2020

4.3.1. Tratamiento 1

Se produjo 3501 ml$\rightarrow cm^3$ de biogás en un periodo de 15 días, como se observa en la figura 7 la producción de biogás es ascendente en función del aumento del tiempo. En este tratamiento se evaluó la combinación de lodo del estero salado y heces de perro. La producción de biogás en este tratamiento alcanzo valore más elevados con respecto al tratamiento 2 y 3 ya que sus componentes (heces y lodo) presentan una descomposición más acelerada.

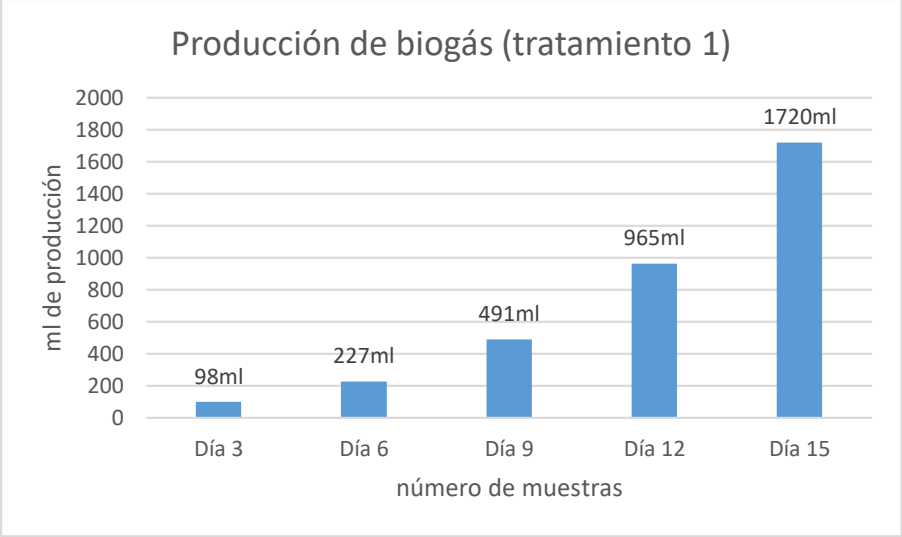

Figura 7: Resultados producción de biogás (tratamiento 1). Andrade, 2020

Biomasa

Se obtuvo 15.9 kg de biomasa (mezcla entre excreta y lodo) y 21.7 litros de biol, los resultados indican que parte del líquido fue absorbido por los sólidos.

Tabla 12: Biomasa inicial y final tratamiento 1.

Biomasa inicial	Biomasa final	Diferencia
15.9 kg	16.7 kg	+ 0.8 kg

Andrade, 2020

4.3.2. Tratamiento 2

Se produjo 2918 ml→cm^3 de biogás en un periodo de 15 días. En este tratamiento se evaluó la combinación de césped y heces de perro, los resultados muestran una producción de biogás inferior con respecto al tratamiento 1, esto se debe a que el césped tiene un alto contenido de lignina y la degradación no alcanzo su pico antes de que culminara el tratamiento. Por este motivo se especula que la biodigestión podría seguir generando biogás hasta el día 20 a 30.

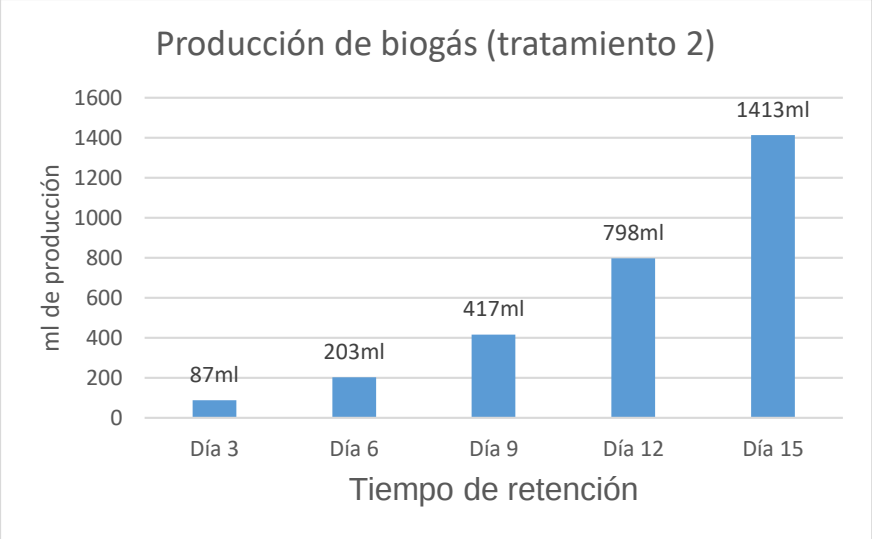

Figura 8: Resultados de producción de biogás (tratamiento 2). Andrade, 2020

Biomasa

Se obtuvo 17.64 kg de solidos (mezcla entre heces y césped) y 21.3 litros de agua (biol), los resultados indican que parte del líquido fue adsorbido por los sólidos, la biomasa no presenta una degradación completa, debido a que en los 15 días que duró el tratamiento no fueron suficientes.

Tabla 13: Biomasa inicial y final tratamiento 2.

Biomasa inicial	Biomasa final	Diferencia
15 kg	16.2 kg	+ 1.2 kg

Andrade, 2020.

4.3.3. Tratamiento 3

Se produjo 2249 ml$\rightarrow cm^3$ de biogás en un periodo de 15 días. En este tratamiento se evaluó la combinación de lodo, heces, césped y hojas secas, los resultados muestran una producción inferior con respecto a los demás tratamientos, la razón se debe a que tanto las hojas secas y el césped contienen un alto contenido de lignina que retrasa la degradación de la materia y por lo tanto no se alcanzó el pico de producción de biogás durante los 15 días que duró el tratamiento. Esta combinación sugiere que el periodo de retención debe ser mayor

y además que la producción se prolongará por más tiempo por lo que al final se podría obtener más biogás.

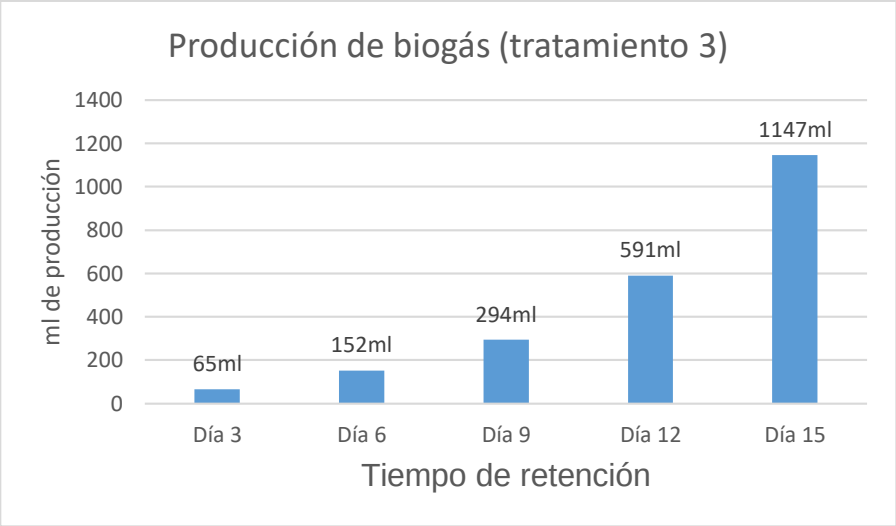

Figura 9: Resultados de producción de biogás (tratamiento 3). Andrade, 2020

Biomasa

Se obtuvo 17.1 kg de biomasa (mezcla entre heces, hojas secas, césped y lodo) y 20.4 litros de agua, los resultados indican que parte del agua fue adsorbida por los sólidos.

Tabla 14: Biomasa inicial y final tratamiento 3.

Biomasa inicial	Biomasa final	Diferencia
15 kg	17.1 kg	+ 2.1 kg

Andrade, 2020.

4.3.4. Tratamiento 4

Se produjo 3616 ml$\rightarrow cm^3$ de biogás en un periodo de 15 días. En este tratamiento se evaluó únicamente las excretas de heces de perro, los resultados muestran valores de producción de biogás superiores con respecto a los demás tratamientos, esto se debe a que las heces tienden a degradarse con mayor rapidez con respecto a las otras combinaciones evaluadas en los tratamientos anteriores.

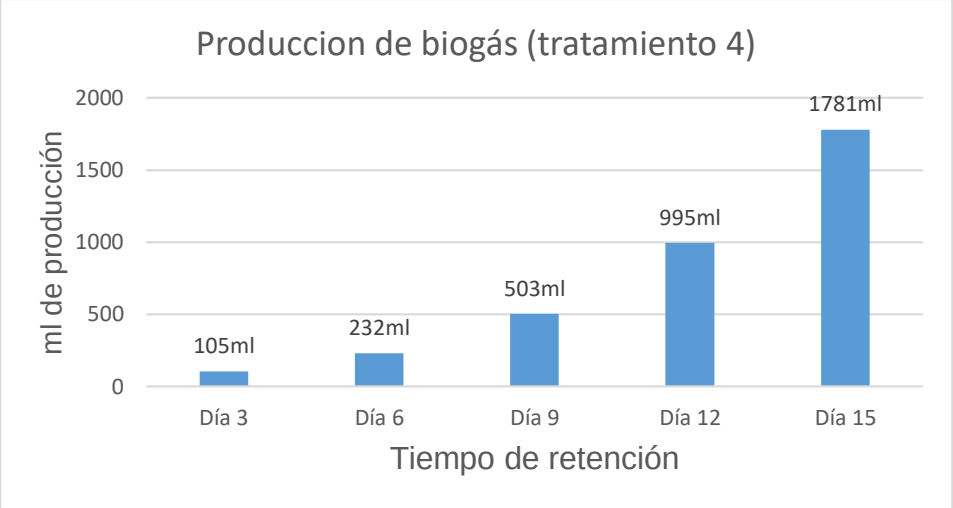

Figura 10: Resultados de producción de biogás (tratamiento 4).
Andrade, 2020

Biomasa

Se obtuvo 11.1 kg de biomasa (heces) el resultado muestra que parte del agua fue adsorbida por la biomasa,

Tabla 15: Biomasa inicial y final tratamiento 4.

Biomasa inicial	Biomasa final	Diferencia
10.5 kg	11.1 kg	+ 0.6 kg

Andrade, 2020.

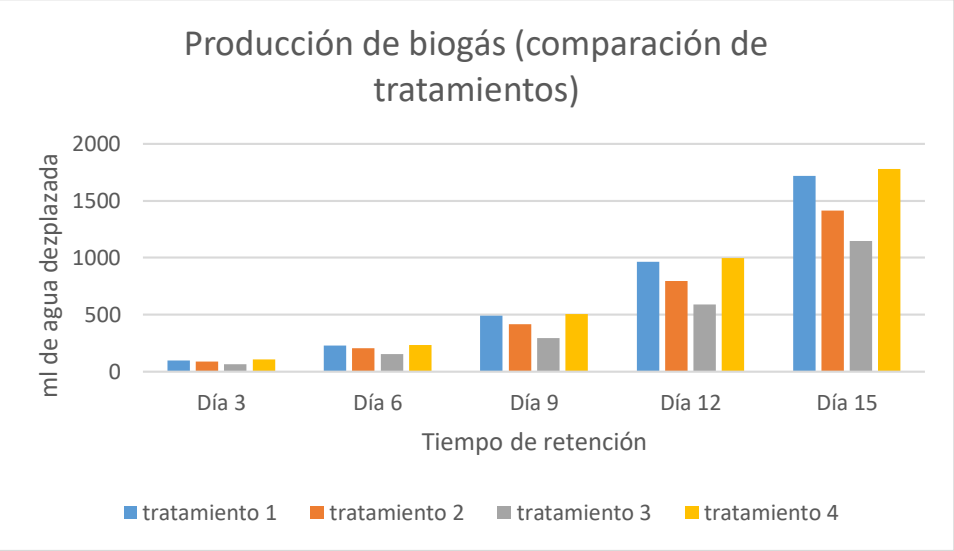

Figura 11: Comparación de tratamientos.
Andrade, 2020

Prueba de Kruskal Wallis

Tabla 16: Milímetros de (ml) de agua desplazada

t1	t2	t3	t4
98	87	65	105
227	203	152	232
491	417	294	503
965	798	591	995
1720	1413	1147	1781

Andrade, 2020

Para el procesamiento de los datos se usó el programa infoStad

Se procedió al cálculo de la normalidad:

Tabla 17: cálculo de normalidad en infoStad.

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
Columna2	20	614,20	550,67	0,83	0,0033

InfoStad, 2020

Se procesó los datos de producción de la **tabla 16** con la prueba de Kruskal Wallis:

Tabla 18: prueba de Kruskal Wallis- infoStad.

Variable	Columna 1	N	Medidas	D.E.	Medianas	H	p
Variables	Tratamiento 1	5	700,20	659,63	491,00	0,71	0,8698
Variables	Tratamiento 2	5	583,60	536,91	417,00		
Variables	Tratamiento 3	5	449,80	437,91	294,00		
Variables	Tratamiento 4	5	723,20	682,78	503,00		

InfoStad, 2020

Los resultados indican que se acepta la hipótesis nula (H_0) ya que no existen diferencias significativas entre los tratamientos.

5. Discusión

Como resultado del procedimiento realizado se determinó que la recolección y almacenamiento de heces presenta un mayor número de bacterias en crecimiento y supervivencia notablemente variados cuando se almacenan a temperatura ambiente. Se desarrolló una bioestabilización óptima de las muestras de heces y se evaluó el almacenamiento en un periodo de 15 días para las muestras, se determinó el efecto de los medios de recolección y el almacenamiento hasta 7 días. Lo cual concuerda con lo expuesto por Richard (1992) que expresa que los métodos de procesamiento biológico se acopla al control de proceso de materiales para gestionar un ecosistema microbiano complejo en el proceso de descomposición que agotan el carbono presente 30 a 35 veces más rápido.

Con la experimentación realizada se logró comprobar que en condiciones óptimas, se producen de 3 a 4 libras de fertilizante por kg de excreta tomando en cuenta el biol y el compost, y su uso sistemático restaura suelos pobres e infértiles y aumenta los rendimientos y la producción. Concordando con lo que indica Barrionuevo (2018). En promedio, un perro produce aproximadamente 18 kilogramos de desechos cada mes, la población canina es de aproximadamente 2,6 millones de perros, extrapolando los datos obtenemos una elevada producción de heces que generan una gran oportunidad para ser aprovechadas. Los estudios han demostrado que hasta el 30 por ciento de todas las bacterias en las cuencas urbanas se remontan a los desechos de perros.

La materia prima para la producción del biogás esencial utilizada para su producción incluye excremento de perro, Hojas secas, Césped, Lodo del Estero Salado el cual contiene bacterias que aceleran la descomposición de la materia orgánica. La selección realizada de la materia prima de biomasa efectuó su valor

ambiental y económico, energía y sostenibilidad. Se demostró que la energía neta que se produjo a partir del biogás es una alternativa que paulatinamente puede competir con los biocombustibles líquidos. Algunas otras materias primas también pueden usarse para la producción de biogás que contiene proteínas, grasas, carbohidratos, hemicelulosas y celulosa; lo que concuerda con el documento de OAS (2018) ¨El biogás es un tipo de biocombustible producido naturalmente a partir de la descomposición de la materia orgánica¨. Cuando esta materia orgánica se expone a un ambiente sin oxígeno, liberan una mezcla de gases, aunque lo que se libera principalmente es metano (entre 50-75%, dependiendo de la cantidad de carbohidratos presentes en la mezcla) y dióxido de carbono, también se liberan otros gases en cantidades más pequeñas.

La adición de sustratos puede aumentar el contenido orgánico presente en la materia prima, lo que puede dar como resultado una mayor producción de biogás. La codigestión de los residuos con excremento de perro resulto en una mayor producción de biogás y producción de energía que otras alternativas como desechos de cocina. Esto implica que la planta de biogás sea económica, mejora el valor de los residuos y reduce los gases de efecto invernadero. La investigación realizada por Jaber & Al-Mukhtar (2012) concuerda con el resultado obtenido que indica el uso de desechos para producir biogás no solo se limita a los desechos de la naturaleza, como desechos agrícolas, desechos de alimentos o ganado estiércol; también puede usar desechos caninos de aquí en adelante llamados excretas caninas. El uso de excretas caninas para la generación de biogás, es considerado beneficioso ya sea en el término del proceso o el medio ambiente. Al mismo tiempo produce energía y reduce problema ambiental causado por la eliminación de excretas caninas no gestionadas.

En la experimentación realizada se analizó 4 tipos de tratamientos para la producción de biogás y se demostró que la digestión anaerobia es un proceso que en condiciones favorables para las bacterias transforma los desechos de biomasa en metano, produciendo energía renovable que se puede utilizar para calefacción, cocción de alimentos y muchas otras operaciones, como motores de combustión interna y turbinas de gas que se adaptan bien a la conversión de biogás en electricidad y calor. La investigación realizada por Varnera (2011) la cual concuerda con la efectividad de la investigación indica que la digestión anaerobia es un proceso ideal por dos razones: el producto de metano burbujea libremente fuera de la solución sin separación costosa; y el microbiano del reactor anaeróbico cosecha la cantidad máxima de energía libre sin oxígeno maximizando la producción de metano.

En el sistema realizado para la producción de biogás se tomaron cinco muestras para manejar el suministro disponible de sustrato, llevó a la conclusión que el prototipo ayuda a seleccionar los mejores sustratos durante la codigestión para que uno no requiera un gran volumen del sustrato para producir metano, además de los sustratos seleccionados se mezclaron con agua en una proporción adecuada antes de alimentar. Concordando con la investigación de Medina & Reina (2016) la cual realizó una estimación del impacto energético y ambiental de la planta, y se observó que la planta tenía importantes beneficios ambientales, requiriendo de un bajo consumo de agua y su posible reutilización en próximos tratamientos. Sin embargo, el estudio demuestra, a través del análisis del balance de materiales de la operación de la planta, que la cantidad de metano producido y, por lo tanto, la electricidad generada puede incrementarse aún más optimizando la operación de la planta.

6. Conclusiones

El país cuenta con una gran cantidad de residuos orgánicos que pueden ser aprovechados para la generación de energía eléctrica y cocción de alimentos a partir de biogás generado, esto permite una reducción de gastos en el hogar mediante una metodología barata y sencilla, además reduce la incidencia negativa hacia el ambiente ya que se le da una disposición adecuada a los residuos generados. Además de la producción energética se obtiene compost que puede ser aprovechado como abono para cultivos y también se obtiene biol que es un abono foliar orgánico usado para germinación de semillas y nutrición de cultivos.

Queda demostrado que la materia orgánica usada es un excelente sustrato para la producción de biogás siempre que los parámetros de digestión sean óptimos para el desarrollo de las bacterias metanogénicas, esto se logra construyendo el biodigestor con las características adecuadas para su funcionamiento.

Es apremiante usar heces de perro ya que es abundante en las zonas rurales de nuestro país, contribuye al mejoramiento de las mismas y es una alternativa energética de bajo costo. Las condiciones climáticas de la región favorecen la implementación de este tipo de proyectos, ya que a mayor temperatura existe una mayor degradación de la materia orgánica reduciendo así la estructura necesaria requerida por el sistema de bioestabilización.

7. Recomendaciones

Hay que tener consideración con los materiales con un alto contenido de lignina ya que no son directamente aprovechables por lo tanto deben recibir un tratamiento previo de cortado y macerado para que sean aprovechados por las bacterias metanogénicas. Es importante contar con un buen sistema de biodigestión (biodigestor) en el cual no exista perdida de presión ya que el biogás generado escapará y no será aprovechado el cien por ciento, además, no podrá ser almacenado ya que la presión no será suficiente.

Se requeriré de esfuerzos de investigación para mejorar la recolección y el procesamiento de residuos y para la producción de biogás con el objetivo de maximizar el equilibrio de energía y minimizar los impactos lo cual tendrá potencial para reemplazar una fracción significativa de gas natural. Se recomienda trabajar en conjunto con centros de crianza de animales lo cual permitirá contar con más residuos e incrementar la producción, además de dar una disposición adecuada a las heces de los perros.

Se recomienda tener especial cuidado con el sistema de bioestabilización ya se trabaja con residuos orgánicos considerados como peligrosos por contener virus y bacterias que pueden afectar a la salud humana, por tal razón es necesario desinfectar el exterior del biodigestor frecuentemente para evitar la propagación de enfermedades y malos olores. También es importante dar un tratamiento previo al biogás ya que La mayoría de los biodigestores producen biogás que contiene entre 0,3 a un 3% de sulfuro de hidrógeno el cual puede ser eliminado con un filtro compuesto de óxido de hierro y carbón activado.

8. Bibliografía

Adekunle, K. F., & Okolie, J. A. (2015). A Review of Biochemical Process of Anaerobic Digestion. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, *06*(03), 205-212. https://doi.org/10.4236/abb.2015.63020

Altozano. (2017). *Heces de mascotas en las calles, problema social y cultural*. https://altozano.com.mx/altozano/heces-de-mascotas-en-las-calles-problema-social-y-cultural/

Amaya, J. C., Moreno, N., Salmaso, N., Bazan, E., Ricoy, G., Córdoba, P., & Santillan, G. I. (2016). Estudio de infestación de caninos con Echinococcus granulosus en la provincia de La Rioja, Argentina. *Revista Argentina de Microbiología*, *48*(1), 38-42. https://doi.org/10.1016/j.ram.2015.11.003

Andrew, c. (1998). *Kruskal Wallis Test*. https://www.sciencedirect.com/topics/medicine-and-dentistry/kruskal-wallis-test

Antolová, D., Reiterová, K., Miterpáková, M., Stanko, M., & Dubinský, P. (2004). Circulation of Toxocara spp. In suburban and rural ecosystems in the Slovak Republic. *Veterinary Parasitology*, *126*(3), 317-324. https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2004.08.005

Arango, O., & Sanches, L. (2009). *Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea en sistemas anaerobios tipo uasb.pdf*. http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v7n2/v7n2a04.pdf

Barrionuevo, J. (2018). *El excremento de las mascotas, un problema ambiental mundial y cómo resolverlo*. https://www.lanacion.com.ar/lifestyle/el-excremento-de-las-mascotas-un-problema-ambiental-mundial-y-como-resolverlo-nid2148718

Becker. (2016). *Se Puede Hacer Composta de las Heces de Tu Perro*. https://mascotas.mercola.com/sitios/mascotas/archivo/2016/08/25/como-hacer-abono-con-popo-de-mascotas.aspx

Betancourt, E. Á. G. (2015). *Plan De Negocios: Pet-Rest S.A.* [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL]. https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/89075/D-P12214.pdf

Bojar, H., & Kłapeć, T. (2012). Contamination of soil with eggs of geohelminths in recreational areas in the Lublin region of Poland. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, *19*(2), 4.

Castillo, D., Paredes, C., Zañartu, C., Castillo, G., & Schenone, H. (2000). *Contaminación ambiental por huevos de Toxocara sp. En algunas plazas y parques públicos de Santiago de Chile, 1999*. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-94022000000300010

Cazier, E. A., Trably, E., Steyer, J. P., & Escudie, R. (2015). Biomass hydrolysis inhibition at high hydrogen partial pressure in solid-state anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, *190*, 106-113. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.04.055

Cerdá, E. (2012). Energía obtenida a partir de biomasa. *Cuadernos Económicos de ICE*, *83*. https://doi.org/10.32796/cice.2012.83.6036

Chávez, J. P. B., Díaz, R. H., Peña, A. H., Isaías, R. C., Blanco, E., Gonzalez, W. R., Bustamante, C. R., & Vargas, C. M. (2011). *Toxocariosis humana en el Perú: Aspectos epidemiológicos, clínicos y de laboratorio*. 9.

Corrales, L. C., Antolinez Romero, D. M., Bohórquez Macías, J. A., & Corredor Vargas, A. M. (2015). Bacterias anaerobias: Procesos que realizan y

contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. *Nova*, *13*(24), 55. https://doi.org/10.22490/24629448.1717

Cuní, B. C. (2011). *Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo y campesino*. *20*(2), 5.

Deganutti, D. R., & Tavares, B. R. (2002a). *Biodigestores rurais: Modelo indiano, chinês e batelada*. 5.

Deganutti, D. R., & Tavares, B. R. (2002b). *Biodigestores rurais: Modelo indiano, chinês e batelada*. 5.

Díaz, G. O. (2007). *Producción de biogás en reactores anaeróbicos bajo diferentes configuraciones de operación*. 4.

Díaz, M., Espitia, S., & Molina, F. (2002). Digestión Anaerobia. En *Microbiología de la digestión anaerbia.pdf* (Primera Edición 2002, p. 96). Universidad Nacional de Colombia. http://bdigital.unal.edu.co/43178/2/9587011961_Parte%201.pdf

Durand, B. (2016). *Fecalismo canino, otro problema de contaminación desbordada.* http://www.eluniversal.com.mx/articulo/ciencia-y-salud/salud/2016/06/6/fecalismo-canino-otro-problema-de-contaminacion-desbordada

Epe, C. (2009). Intestinal Nematodes: Biology and Control. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, *39*(6), 1091-1107. https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2009.07.002

FAO. (2011). *Dog population management. Report of the FAO/WSPA/IZSAM expert meeting—Banna, Italy,*. 76.

Freinkel, S. (2014). *El problema de la caca: Qué hacer con 10 millones de toneladas de desechos de perros*. https://www.livescience.com/44732-eliminating-pet-poop-pollution.html

García, V. (2018). *Manual de biogás*. https://www.gba.gob.ar/sites/default/files/agroindustria/docs/Manual_de_Biogas01.pdf

Glickman, L. T., & Schantz, P. M. (1981). Epidemiology and Pathogenesis of Zoonotic Toxocariasis. *Epidemiologic Reviews*, *3*(1), 230-250. https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.epirev.a036235

González, S. I. P. (2016). *Construcción y evaluación de un digestor anaerobio para la producción de biogás a partir de residuos de alimentos y poda a escala banco*. 85.

Grothusen, M. (2014). *Biogás de residuos agropecuarios en la region de los Ríos*. Imprenta América de Osorno. https://www.goredelosrios.cl/wp-content/uploads/2018/01/Libro-Biogas-PRDSAP-Regi%c3%b3n-de-Los-R%c3%ados.pdf

Guayaquil, M. (2019). *Gaceta Oficial*. https://guayaquil.gob.ec/Gacetas/Periodo%202014-2019/Gaceta%2048.pdf

Hilbert, J. (2016). *Manual para la producción de biogas.pdf*. Instituto de Ingeniería Rural I.N.T.A. - Castelar. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manual_para_la_produccin_de_biogs_del_iir.pdf

Hilbert, J. (2018). *Manual para la producción de biogas del_iir.pdf*. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manual_para_la_produccin_de_biogs_del_iir.pdf

Hilkiah Igoni, A., Ayotamuno, M. J., Eze, C. L., Ogaji, S. O. T., & Probert, S. D. (2008). Designs of anaerobic digesters for producing biogas from municipal solid-waste. *Applied Energy*, *85*(6), 430-438. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2007.07.013

Iannacone, J., Alvariño, L., & Cárdenas-Callirgos, J. (2012). *Contaminación de los Suelos con Huevos de Toxocara Canis en Parques Públicos de Santiago de Surco, Lima, Perú, 2007-2008*. 13.

Jaber, S. A., & Al-Mukhtar, O. (2012). *Canine faeces: The microbiology of an environmental health problem*. 241.

Jayr. (2009). *Clasificación de Biodigestores*. https://energiacasera.wordpress.com/2009/09/17/clasificacion-de-biodigestores/

MARC. (2018). *Efectos del excremento de tu mascota*. 2.

Mariscal-Santi, W. E., Garcia-Larreta, F. S., Mariscal-Garcia, R. S., Paredes-Jara, C. A., Ponce-Solórzano, H. X., Montiel-Rivera, T. A., & De La Torre-Quinonez, E. F. (2018). Presencia de Microorganismos patógenos en las aguas del Estero Salado año 2013. *Polo del Conocimiento*, *3*(4), 150. https://doi.org/10.23857/pc.v3i4.472

Martí-Herrero, J. (2015). *Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación*. Unpublished. https://doi.org/10.13140/rg.2.1.1048.6242

Martínez, I., Cárdenas, E. M. G., & Sosa, E. A. A. (2008). *Contaminación parasitaria en heces de perros, recolectadas en calles de la ciudad de San Cristóbal de Las Casas, Chiapas, México.* 8.

Matimena. (2018). *Recolección de gases por desplazamiento de agua*. https://es.scribd.com/document/356154686/RECOLECCION-DE-GASES-POR-DESPLAZAMIENTO-DE-AGUA-docx

Medina, M. A. A., & Reina, V. P. (2016). *Implementación de un biodigestor para el manejo sanitario de heces caninas potencialmente transmisoras de enfermedades zoonóticas en el refugio animal Dame Vida, en Tenjo, Cundinamarca*. 93.

Misra, R. (2003). *On-farm composting methods*. http://www.fao.org/3/a-y5104e.pdf

OAS. (2018). *Realidad, Impacto y Oportunidades de los Biocombustibles en Guatemala*. http://www.oas.org/dsd/Energy/Documents/SimposioG/3%20Panel%20I%20Biogas.pdf

OMS, (Organización Mundial de la Salud). (2017). *Enfermedades diarreicas*. https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/diarrhoeal-disease

Pachón, D. A. R. (2017). *Diseño y construcción de un biodigestor para la producción de biogás a partir de heces caninas.* http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6949/1/DavidAlexanderRodriguezPach%C3%B3n2017.pdf

Palma, J. R. P. (2015). *Evaluación de las caracteristicas del compost a partir de la gallinaza, caña de azúcar y suelo franco limoso por codigestion anaerobica para la obtención de abono orgánico a utilizarce en el sector agricola* [Universidad de San Carlos de Guatemala]. https://core.ac.uk/download/pdf/35291993.pdf

Parra, E. M. Á. (2013). *Elaboración de Estrategias de Marketing y Trade para la marca de productos Pro Plan de la Unidad de Negocio Nestlé Purina*

[PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR]. http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/9616/Tesis%20Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Parra, S. J. O. (2015). *Comparación de Dos Tipos de Biodigestores Utilizados en la Ciudad de Villavicencio-Meta* [UNIVERSIDAD SANTO TOMAS]. https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/13999/2015shirleyocampo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Peña, J. J. A., & Malagón, L. G. Z. (2007). *Implementacion de un sistema autosostenible en la granja agropecuaria del municipio de cogua para el tratamiento de los vertimientos liquidos porcicolas.* 172.

Pérez, A. C. L. (2017). *Valorización del estiércol de cerdo a través de la producción de biogás*. 37.

Pérez, R., Arrieta, D., Zamora, E., García, R., & Prieto, V. (2003). *Toxocara sp. En parques y zonas públicas de ciudad de la Habana 1995*. 5.

Richard, T. L. (1992). Municipal solid waste composting: Physical and biological processing. *Biomass and Bioenergy*, *3*(3-4), 163-180. https://doi.org/10.1016/0961-9534(92)90024-K

Rippy, Stalzer & Michaud. (2005). *Compostaje.pdf*. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_035763.pdf

Rivas, C., & Mota, M. (2002). *Bacterias Anaerobias*. http://www.higiene.edu.uy/cefa/2008/BacteriasAnaerobias.pdf

Robertson, I. D., Thompson, R. C. A., Irwin, P., Traub, R. J., & Mencke, N. (2002). The role of dogs in transmission of gastrointestinal parasites in a remote tea-growing community in northeastern India. *The American Journal of Tropical*

Medicine and Hygiene, *67*(5), 539-545. https://doi.org/10.4269/ajtmh.2002.67.539

Snyder, C. (1948). *Visceral Larva Migrans. Ten Years' Experience. 24*. https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19612902519

Steinhaus, B., Garcia, M. L., Shen, A. Q., & Angenent, L. T. (2007). A Portable Anaerobic Microbioreactor Reveals Optimum Growth Conditions for the Methanogen Methanosaeta concilii. *Applied and Environmental Microbiology*, *73*(5), 1653-1658. https://doi.org/10.1128/AEM.01827-06

Surgan, M. H., Colgan, K. B., Kennett, S. I., & Paffmann, J. V. (1980). A survey of canine toxocariasis and toxocaral soil contamination in Essex County, New Jersey. *American Journal of Public Health*, *70*(11), 1207-1208. https://doi.org/10.2105/AJPH.70.11.1207

Toledo. (2011). *Granjas verticales.pdf*. http://imgbiblio.vaneduc.edu.ar/fulltext/files/TC116485.pdf

Traversa, D., Frangipane di Regalbono, A., Di Cesare, A., La Torre, F., Drake, J., & Pietrobelli, M. (2014). Environmental contamination by canine geohelminths. *Parasites & Vectors*, *7*(1), 67. https://doi.org/10.1186/1756-3305-7-67

Varnero, M. (2011). *Manual de biogás.* http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf

Zúñiga, R. (2015). *Estadística No Paramétrica*. 32.

9. Anexos

Figura 12: Área de cobertura del proyecto.
Google Maps, 2019

.

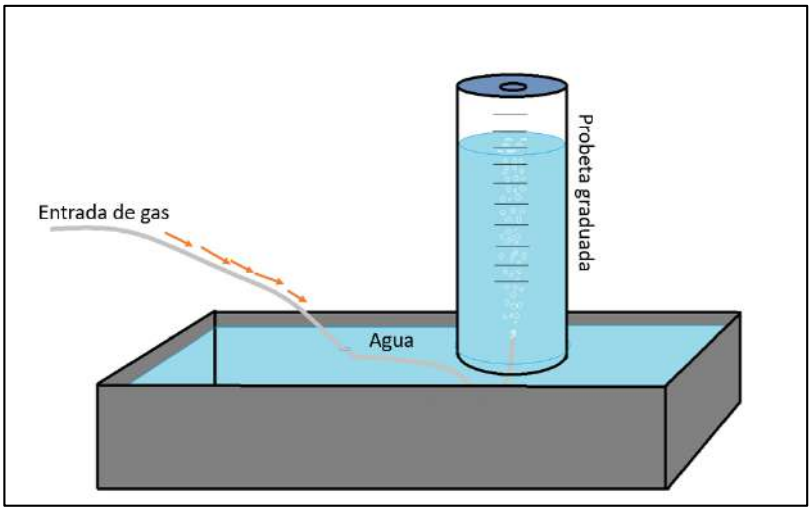

Figura 13: Método de medición de gases mediante desplazamiento de agua.
Andrade, 2019

Tabla 19. Tabla de registro de tasa de producción de excreta de perros.

Día	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Promedio aprox.
Masa diaria (Kg)								

Andrade, 2019

Tabla 20. Recursos materiales

Cantidad	Descripción
1	Tanque de 50 litros
1	Tubo de llanta
1	Botella de plástico (transparente)
1	Tapón de limpieza sanitario
1	Manguera de gas propano 5 metros ½”
1	Manómetro 0-100 PSI
2	Llave de paso de globo 2”
1	Accesorio adaptador para válvula de llanta
2	Llaves de paso de metal ½”
1	Conector de tanque PVC ½”
1	Adaptador de manguera PVC
1	Soldadura (pegamento) para PVC
1	Silicona selladora transparente
1	t de PVC de ½”
1	Tapón hembra PVC de ½”
1	3m de caño de PVC de 1”
1	Unión de tanque de 1 ½”
1	1,2m de caño de PVC de 1 ½”
1	Conector “T” de 1 ½”
2	abrazaderas omega 1 ½”
2	chapas de acero inoxidable
1	Tiras de PH
1	Caja de guantes
5	Recipientes para muestras
1	Termómetro
	Materiales para la producción de biogás
	Heces de perros
	Hojas secas
	Césped
	Lodo (Estero Salado)

Andrade, 2019

Figura 14: Fases de construcción de biodigestor.
Andrade, 2020

Figura 15: Recolección de heces de perro en la ciudadela Valdivia IV. Andrade, 2020

Figura 16: Recolección de heces, ciudadela Valdivia IV.
Andrade, 2020

Figura 17: Recolección de césped en la Universidad Agraria del Ecuador. Andrade, 2020

Figura 18: Recolección de hojas secas.
Andrade, 2020

Figura 19: Pesado de componentes.
Andrade, 2020

Figura 20: Prototipo de biodigestor de 60 litros.
Andrade, 2020

Figura 21: Estero salado, zona de recolección de lodo.
Andrade, 2020

Figura 22: Preparación de proceso de digestión anaerobia. Andrade, 2020

Figura 23: Homogenización de biomasa, mezcla de heces de perro, césped y agua.
Andrade, 2020

Figura 24: Inicio de tratamiento.
Andrade, 2020

Figura 25: Medición de biogás por desplazamiento de agua.
Andrade, 2020

Figura 26: Biomasa final (compost)
Andrade, 2020

Figura 27: Proceso de digestión, tratamiento 2.
Andrade, 2020

Figura 28: Recolección de lodo (bacterias metanogénicas).
Andrade, 2020

Figura 29: Biol, resultado de bioestabilización de heces de perro. Andrade, 2020

Figura 30: Prueba de fuego (apertura de válvula de salida de gas). Andrade, 2020