



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

**EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE
BIOGÁS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA PLANTA
PORCINA MEDIANTE DIGESTIÓN ANAERÓBICA**
TRABAJO EXPERIMENTAL

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

AUTORES
PARRA SALINAS WILSON MARCELO
ZAMBRANO CHAPI RICARDO ANDRÉS

TUTOR
ING. ARCOS JÁCOME DIEGO ARMANDO M.Sc.

GUAYAQUIL – ECUADOR

2021



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

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **ARCOS JÁCOME DIEGO ARMANDO**, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA PLANTA PORCINA MEDIANTE DIGESTIÓN ANAERÓBICA**, realizado por los estudiantes **PARRA SALINAS WILSON MARCELO**; con cédula de identidad N° **0919816462** y **ZAMBRANO CHAPI RICARDO ANDRÉS**; con cedula de identidad N° **0927073056** 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,

Arcos Jácome Diego Armando

Guayaquil, 12 de noviembre del 2021



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERÍA 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: **“EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA PLANTA PORCINA MEDIANTE DIGESTIÓN ANAERÓBICA”**, realizado por los estudiantes **PARRA SALINAS WILSON MARCELO** y **ZAMBRANO CHAPI RICARDO ANDRÉS**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

JÁCOME MURILLO EMMA, M.Sc.
PRESIDENTE

ING. MOROCHO ROSERO LUIS, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

FACUY DELGADO JUSSEN, M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL

ARCOS JÁCOME DIEGO, M.Sc.
EXAMINADOR SUPLENTE

Guayaquil, 12 de noviembre del 2021

Agradecimiento

Agradezco a Dios por darme la capacidad suficiente para haber podido lograr esta meta.

A mi familia que siempre me ha dado su apoyo y han sido un pilar fundamental en mi vida.

Al Ing. Diego Arcos Jácome quien fue mi mentor durante mi carrera, y por siempre dar lo mejor de sí mismo para mi desarrollo académico.

Parra Salinas Wilson Marcelo

Dedicatoria

Dedico mi tesis a mis padres y a mi hermana, quienes siempre estuvieron brindándome su incondicional apoyo y amor para poder culminar mis estudios profesionales.

Parra Salinas Wilson Marcelo

Agradecimiento

Le agradezco a Dios por darme la fortaleza para seguir adelante en este proceso de superación académica, a mis padres por ser el soporte en mi vida apoyándome en todas las necesidades que tuve, a mi familia por tener la confianza y la atención en mi esfuerzo para llegar a culminar mi objetivo. También al Ing. Arcos por la constancia, apoyo y enseñanza incondicional para que seamos ingenieros ambientales.

Zambrano Chapi Ricardo Andrés

Dedicatoria

Le dedico mi tesis de grado a mi mamá y a mi papá, que estuvieron en todo el trayecto de mi vida impulsándome en convertirme en profesional, sacrificándose, y motivándome diariamente en completar mi objetivo, de esa forma poder obtener una vida estable y de mucho aprendizaje.

Zambrano Chapi Ricardo Andrés

Autorización de Autoría Intelectual

Yo **PARRA SALINAS WILSON MARCELO**, en calidad de autor del proyecto realizado, sobre **“EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA PLANTA PORCINA MEDIANTE DIGESTIÓN ANAERÓBICA”** 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(a) 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, 12 de noviembre del 2021

PARRA SALINAS WILSON MARCELO
C.I. 0919816462

Autorización de Autoría Intelectual

Yo **ZAMBRANO CHAPI RICARDO ANDRÉS**, en calidad de autor del proyecto realizado, sobre **“EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA PLANTA PORCINA MEDIANTE DIGESTIÓN ANAERÓBICA”** 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(a) 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, 12 de noviembre del 2021

ZAMBRANO CHAPI RICARDO ANDRÉS
C.I. 0927073056

Índice general

Portada.....	1
APROBACIÓN DEL TUTOR	2
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	3
Agradecimiento	4
Dedicatoria.....	5
Agradecimiento	1
Dedicatoria.....	2
Autorización de Autoría Intelectual	3
Autorización de Autoría Intelectual	4
Índice general	5
Índice de tablas	10
Índice de figuras.....	12
Resumen	13
Abstract.....	14
1. Introducción.....	15
1.1 Antecedentes del problema.....	15
1.2.1 Planteamiento del problema.....	16
1.2.2 Formulación del problema.....	17
1.3 Justificación de la investigación	17
1.4 Delimitación de la investigación	19
1.5 Objetivo general	19
1.6 Objetivos específicos.....	19
1.7 Hipótesis	20
2. Marco teórico	21

2.1 Estado del arte.....	21
2.2 Bases teóricas	24
2.1.1 Industria porcícola.....	24
2.1.2 Aguas residuales porcinas	24
2.1.3 Características de las aguas residuales porcinas	25
2.2.3.1. DBO5	25
2.2.3.2. DQO	26
2.2.3.3. Nitrógeno total	26
2.2.3.4. Fósforo	27
2.2.3.5. Carbono orgánico.....	27
2.2.3.6. Sólidos totales	28
2.2.3.7. Sólidos suspendidos totales	28
2.2.3.8. pH.....	28
2.2.3.9. Temperatura.....	29
2.1.4 Tratamientos de aguas residuales porcinas	29
2.2.4.1. Tratamientos físicos.....	29
2.2.4.2. Tratamientos químicos	30
2.2.4.3. Tratamientos térmicos	30
2.2.4.4. Tratamientos biológicos	30
2.3 Marco legal.....	31
2.1.5 Constitución de la república del Ecuador: Registro oficial 449 de 20 octubre del 2008	31
2.1.6 Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua; Registro oficial 305 de 06 de agosto de 2014	32

2.1.7 Código Orgánico del Ambiente; Registro Oficial Suplemento 983 de 12 de Abril de 2017	34
2.1.8 Acuerdo Ministerial No. 061; Reforma del libro vi del texto unificado de legislación secundaria de 04 de mayo de 2015	34
2.1.9 Acuerdo Ministerial No.097A; Registro Oficial 387 de 04 de Noviembre de 2015... ..	35
3. Materiales y métodos	37
3.1 Enfoque de la investigación	37
3.1.1 Tipo de investigación	37
3.1.1.1. Investigación documental.....	37
3.1.1.2. Investigación de campo y laboratorio	37
3.1.1.3. Investigación experimental.....	38
3.1.2 Diseño de investigación.....	38
3.2 Metodología	38
3.2.1 Variables.....	39
3.2.1.1. Variable independiente	39
3.2.1.2. Variable dependiente.....	39
3.2.2 Tratamientos	40
3.2.3 Diseño experimental.....	40
3.2.4 Recolección de datos.....	41
3.2.4.1. Recursos	41
3.2.5 Métodos y técnicas.....	42
3.2.5.1. Cuantificación del volumen del agua residual producida en la planta porcina mediante caracterización.....	42

3.2.5.2. Determinación de la variación del pH y temperatura en la producción de biogás mediante monitoreo	43
3.2.5.3. Propuesta del mejor biorreactor para aprovechamiento energético en la planta porcina.....	44
3.2.6 Análisis estadístico	44
3.2.6.1. Medidas de tendencia central y variabilidad.....	45
4. Resultados	46
4.1 Cuantificación del caudal volumétrico en la planta porcina mediante caracterización.	46
4.1.1 Datos para el cálculo del caudal	46
4.2 Presentación de la aplicabilidad del tratamiento anaeróbico en aguas provenientes de la industria porcina para la producción de biogás.	51
4.2.1 Análisis estadístico parámetro pH.	56
4.2.2 Prueba de Tukey del parámetro pH.....	57
4.2.3 Análisis estadístico del parámetro temperatura.....	59
4.2.4 Prueba de Tukey parámetro Temperatura.....	59
4.3 Caracterización de la composición físico – química de los lixiviados mediante análisis de laboratorio (DBO, DQO, Nitrógeno Total, Fosforo, Sólidos Totales Y Sólidos Suspendidos Totales).	64
4.4 Implementación de dos tipos de reactores para el aprovechamiento de lixiviados de la planta porcina.	67
4.5 Realización de una propuesta en base al mejor biorreactor para aprovechamiento de biogás en la planta porcina.	68
5. Discusiones	70
6. Conclusiones	74

7. Recomendaciones	76
8. Bibliografía.....	78
9. Anexos	84

Índice de tablas

Tabla 1. Descripción de tratamientos	40
Tabla 2. Análisis ANOVA.....	45
Tabla 3. Monitoreo del caudal – semana 1.	46
Tabla 4. Monitoreo del caudal – semana 2.	47
Tabla 5. Monitoreo del caudal – semana 3.	48
Tabla 6. Monitoreo del caudal – semana 4.	49
Tabla 7. Monitoreo de excretas.....	50
Tabla 8. Biodigestor simple.	51
Tabla 9. Biodigestor compuesto.	52
Tabla 10. Monitoreo del parámetro pH del biorreactor simple.....	53
Tabla 11. Monitoreo del parámetro Temperatura biorreactor simple.....	54
Tabla 12. Monitoreo del parámetro pH biorreactor compuesto.	55
Tabla 13. Monitoreo del parámetro Temperatura biorreactor compuesto.	56
Tabla 14. Análisis de la Varianza (SC tipo III).	57
Tabla 15. Test: Tukey agrupación.....	58
Tabla 16. Análisis estadístico del parámetro Temperatura.	59
Tabla 17. Test: Tukey agrupación.....	60
Tabla 18. Análisis químico del agua residual proveniente de la industria porcina - semana 1.....	64
Tabla 19. Análisis químico del agua residual proveniente de la industria porcina - semana 2.....	65
Tabla 20. Análisis químico del agua residual proveniente de la industria porcina - semana 3.....	66

Tabla 21. Análisis químico del agua residual proveniente de la industria porcina - semana 4.....	66
Tabla 22. Análisis químico promedio del agua residual proveniente de la industria porcina.	67
Tabla 23. Referencia de pesos promedios de cerdos	86
Tabla 24. Límites máximos de descarga a la red pública.....	86
Tabla 25. Análisis económico de la construcción de los biodigestores.	87
Tabla 26. Valores de implementación unitario del biodigestor.	88
Tabla 27. Valor económico del gas común en el lapso de un año.	88

Índice de figuras

Figura. 1. Ubicación del lugar de estudio	84
Figura. 2. Hoja de recolección del volumen residual de limpieza	85
Figura. 3. Hoja de recolección del volumen de excretas	85
Figura. 4. Diseño de etiqueta para muestras de agua residual	86
Figura. 5. Biorreactor de capacidad de 10 litros	89
Figura. 6. Biorreactor de capacidad de 10 litros	89

Resumen

El trabajo de titulación denominado “Evaluación del potencial de producción de biogás de las aguas residuales de una planta porcina mediante digestión anaeróbica” tuvo como propósito el abordaje de revisión bibliográfica e identificar si existe una o varias teorías con nivel de evidencia aplicable al tema del biogás generado por las aguas residuales de la industria porcina. Se elaboró una estructura lógica que va introduciendo de forma secuencial y razonable la información, de tal manera que el trabajo experimental permite al lector comprender el proceso, dosis y materiales utilizados para la generación del biogás. En el proceso experimental se tomó en cuenta los siguientes parámetros: pH, Temperatura (°C) obteniendo la estabilización correcta 7.0 pH neutro y 26-29°C como temperatura ambiente. Como resultado, se puede decir, que el mejor tratamiento es el número 3 compuesto por agua residual porcina 24L + biorreactor + 30 días, este tratamiento generó correctamente el componente denominado biogás de buena calidad en su totalidad 24.02L, cumpliendo con la presión necesaria en un espacio de 6000cm³.

Palabras claves: agua residual porcina, biogás, digestión anaeróbica.

Abstract

The project called "Evaluation of the potential for biogas production of the wastewater of a swine plant by means of anaerobic digestion", was aimed at reviewing the literature and identifying whether there is one or more theories with a level of evidence available to the topic of biogas generated by wastewater from the pig farm. A logical structure was developed that introduces the information sequentially and reasonably, in such a way that the experimental work allows the reader to understand the process, doses and materials that are used for the biogas generation. In the experimental process the following parameters were taken into account: pH, Temperature ($^{\circ}$ C) obtaining the correct stabilization 7.0 neutral pH and 26-29 $^{\circ}$ C as room temperature. As a result, it can be said that the best treatment is number 3 composed of 24L porcine wastewater + bioreactor + 30 days, this treatment correctly generated the component called good quality biogas in its entirety 24.02L, complying with the necessary pressure in a space of 6000cm³.

Key words: swine wastewater, biogas, anaerobic digestion.

1. Introducción

1.1 Antecedentes del problema

A nivel mundial, las granjas porcícolas consumen aproximadamente entre 1L/min y 2 L/min de agua en las fases de crianza, preñez y lactancia, siendo esta ultima la que requiere de mayor consumo (Álvarez & Babot, 2017; Kvolek, 2017). Producto de la demanda de agua se generan grandes volúmenes de aguas residuales, los cuales están compuestos por 6,2% de materia orgánica, 5,5 kg de nitrógeno total, 3,3 kg de metano, 5,7kg de óxido de fósforo, 2,4 kg de óxido de potasio, 1,7 de óxido de magnesio, 12,5 kg de óxido de sodio y 3,8kg de metales pesados, siendo el sector porcícola el responsable del 18% de los gases de efecto invernadero. Además, por cada 100kg de peso en pie de cerdo producen cerca de 0,25kg de DBO, y 0,75kg DQO (Aguilar, 2018).

América latina incrementó la producción de cerdos en 4,5% en el 2019, siendo la industria consumidora del 13% del agua consumible, y requiriendo de un aumento de cobertura del 64% para tratar el agua residual hasta el año 2030 (Derksen, 2020; United Nations World Water Assessment Programme, 2017). Esta región es el responsable del 16,6% de la producción de cerdos a nivel global, siendo Brasil el mayor productor, con una cifra aproximadamente de 36,7 millones de cabezas anual (Background, 2019; Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2017). Mientras que de los países latinos, Argentina es el menor productor, consumiendo 6000 litros de agua por cada kilogramo de cerdo (Koop, 2020). No obstante, Chile es el único país que trata el 90% de las aguas residuales en latinoamérica (Andriani, 2015).

En Ecuador, la producción per cápita de consumo de cerdo fue del 33,9 libras en el año 2010 (El Expreso, 2018; Novak, 2018). Siendo las provincias de Santo

Domingo, Guayas, Pichincha, Manabí y El Oro los mayores productores locales con una estimación del 30% a nivel local (Arce, 2014).

Es así que apenas el 10% del agua residual porcícola es tratada en el territorio nacional (Arce, 2014).

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

La “granja porcícola Weison” realiza actividades de producción porcícola puesto que como causa consumen una mayor cantidad de agua para satisfacer las necesidades de producción de cerdos y realizar actividades de limpieza en las granjas, dado que, generan diariamente masas de excretas, trazas de productos de limpieza, aditivos de crecimiento, fracciones de antibióticos, residuos de comida de los comederos, terminando todo esto concentrado en los volúmenes de agua residual generados diariamente.

Por lo cual, los efluentes acaban almacenados temporalmente en pozos durante días y es allí donde se originan por procesos de descomposición de la materia orgánica gases de efecto invernadero como el metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), amoníaco (NH_3), y óxido nitroso (N_2O) que son liberados a la atmosfera, además se desprenden olores nauseabundos, proliferación de vectores principalmente moscas, cucarachas, y roedores.

De la misma manera, estos problemas ambientales vienen comprometiendo a los obreros del sector porcícola ya que los sitúan a diferentes aspectos de riesgos sanitarios. De igual forma, luego del tiempo transcurrido del confinamiento del agua residual estas son descargadas sin ningún tratamiento previo al alcantarillado de la red municipal de manera que por la gestión ineficiente incurren en el incumplimiento

de los rangos máximos permitidos por la normativa ambiental vigente del territorio nacional.

Es así que, se debió establecer un sistema de tratamiento biológico que permita gestionar los caudales de agua residual con la finalidad de mitigar los impactos negativos ocasionados por la producción intensificada de cerdos.

1.2.2 Formulación del problema

¿Qué técnica biológica permitió aprovechar el potencial metanogénico y energético de los lixiviados en la planta porcina?

1.3 Justificación de la investigación

Para el desarrollo de este tipo de investigación previamente se debió realizar una caracterización del caudal durante una semana de monitoreo ya que así se estableció información base actualizada sobre el volumen diario del caudal residual generado por la producción intensificada del sector porcino. Después, se tomaron muestras que fueron sometidas a análisis físico-químico para identificar los principales contaminantes presentes en las muestras.

Así mismo, se implementó dos tipos de biodigestores que mediante la digestión anaerobia permitan gestionar los caudales de agua residual. Al mismo tiempo, se obtuvo beneficios de índole social, ambiental y económico. Puesto que, los beneficios ambientales que se consiguieron, se enfatizan en la reducción de los olores fétidos, vectores infecciosos, y además permitió el aprovechamiento del potencial metanogénico y energético de los gases de efecto invernadero, principalmente metano y dióxido de carbono.

No obstante, con estos últimos aportes fue posible generar biogás, ya que como expectativa posibilitar el reemplazo del uso del combustible fósil por energía limpia.

El Ministerio del Ambiente y Agua (2019), alude que tratar las aguas residuales suscita beneficio por potencial energético que poseen además que puede ser aprovechado como fuentes de energía renovable y a la vez mejorar las condiciones ambientales.

El tipo de justificación que se programa en el estudio es de carácter teórico – práctico. En parte es teórico debido a que se basa en comprobar la forma en que los procesos anaeróbicos se presentan en la reutilización de aguas residuales proveniente de una planta porcina y como han sido adoptadas estas tecnologías de bioenergía, de la cual se tiene conocimiento previo en nuestro país, puesto que tiempo atrás se ha venido debatiendo la implementación de biodigestores (biogás) que ayuden a la economía de las familias rurales y a la vez ocasionar un impacto positivo en el ambiente (Francois, 2014).

De acuerdo al análisis económico el biodigestor mantiene altos costos en lo que respecta con la estructura inicial, pero si se da a largo plazo este se caracteriza beneficioso, debido a la característica principal que es la reutilización de componentes orgánicos. En comparación con el gas doméstico este en el ámbito comercial se identifica por ser económico, pero a corto plazo (Cárdenas & Duche, 2021).

Mientras que los beneficios sociales, se percibirán por el descenso y ausencia de enfermedades en los operadores de la granja y reduce la carga en el sistema de salud público.

Finalmente, los resultados que se obtengan permitirán contribuir con soluciones científicas que cambien el modelo de la gestión ambiental y potencien al sector porcino como una industria sostenible.

1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** Granja porcina Weison localizada en la vía Progreso - Playas provincia de las Guayas con coordenadas geográficas de 02°30'23.4" al Sur y 080°23'34.1" al Oeste (Ver anexo 1).

- **Tiempo:** 3 meses

- **Población:** la población inmersa es de 49311 habitantes según los datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC).

1.5 Objetivo general

Evaluar el potencial de producción de biogás de las aguas residuales de una planta porcina mediante digestión anaerobia como alternativa de energía renovable.

1.6 Objetivos específicos

- Cuantificar el caudal volumétrico en la planta porcina mediante caracterización.

- Presentar la aplicabilidad del tratamiento anaeróbico en aguas proveniente de la industria porcina para la producción de biogás.

- Caracterizar la composición físico - química de los lixiviados mediante análisis de laboratorio (*DBO, DQO, Nitrógeno Total, Fosforo, Sólidos Totales Y Sólidos Suspendidos Totales*).

- Implementar dos tipos de reactores (simples y compuestos) para el aprovechamiento de lixiviados de la planta porcina.

- Realizar una propuesta en base al mejor biorreactor para aprovechamiento de biogás en la planta porcina.

1.7 Hipótesis

La aplicación del proceso de digestión anaerobia permitirá la estabilización de la producción de biogás de las aguas residuales en la planta porcina.

2. Marco teórico

2.1 Estado del arte

En la digestión anaeróbica del estiércol de cerdo generada en la ciudad de Puyo, Pastaza-Ecuador, se utilizó un biodigestor tubular de polietileno de 13 m³, alimentado por 5,141 m³ de agua residual y se caracterizó parámetros físico-químicos y microbiológicos en las muestras de agua residual y sustratos. Obteniendo como resultado un volumen diario de 51,41 litros de agua residual diaria, y un volumen de 2,211m³ de biogás en 43 días. Los valores iniciales de 6,66 pH, 4,6mS de conductividad eléctrica, 506mg/l de sólidos totales, 187mg/l de sólidos volátiles, 53 ppm de fósforo, 0,00029 ppm de potasio, 0,0012 de magnesio, 0,01248 ppm de calcio, 57,44 ppm de nitrógeno amoniacal, 2161 mg/l de demanda química de oxígeno, $2,2 \times 10^5$ ufc de coliformes fecales, y $1,12 \times 10^6$ ufc de E. Coli. Concluyendo que solo los parámetros de pH, conductividad eléctrica, Mg, Ca y K cumplen con los rangos establecidos por la normativa nacional (Briseño, 2017).

En la evaluación de la eficiencia y funcionamiento del biodigestor anaeróbico de flujo continuo en la granja porcina Carlitos en Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador, se utilizó un biodigestor tipo bolsa de plástico-polietileno con capacidad de 126m³, luego de manera previa la caracterización de las excretas porcinas y análisis físico-químico de muestras de agua residual porcícola, el tiempo del ensayo fue de 3 meses. Se obtuvo como resultados que el consumo de agua por día fue de 4m³, mientras que los valores promedios físico-químicos fueron de 28,3°C de temperatura, 6,0 de pH, 16/1 de relación C/N, y datos de 52,18%, CH₄, 42,76% de CO₂, 2,14% de N, 3,51% de O, y 0,41% de H₂O en el primero monitoreo, mientras que al final del ensayo estos valores fueron de 43,33% de CH₄, 30,60% de CO₂, y en el mes de marzo fue de 12,21% de O, 13,09 de N, y en el mes de

marzo fue de 0,68% de H₂O. Concluyendo que calcular el volumen diario de aguas residuales y excretas es fundamental para un correcto diseño del biodigestor (Gandarillas, 2015).

Para la comparación de dos tipos de biomasa para generación de biogás en el laboratorio en Guadalajara, México, se utilizó la digestión anaerobia de excretas de cerdos y bovinos diluidas en agua residual, mediante duplicado de biodigestores discontinuos con capacidades 500ml, durante 45 días, y se analizó parámetros físicos (pH, temperatura, humedad y sólidos totales). Obteniendo como resultados valores promedios de 0.00022m³ a temperatura de 23°C a los 45 días, mientras que a los 0.002338 m³ a 34°C, además valores de 61,8% de humedad, 7,7 de pH, 9,5% de sólidos totales. Concluyendo que a mayor temperatura la producción de biogás es más eficiente (Yang, 2017).

En la biometanización de la materia orgánica de descargas residuales porcinas en la ciudad de Ambato Taporapa, distrito de Bellavista, Perú, se utilizó 13 biorreactores incluido 1 testigo, compuesto por material plástico (botellas) con capacidad de 7 litros, llenadas por 1000ml y 5 000ml de agua residual, 500g y 1 500g de excretas, más 25g y 100g de catalizador (pulpa de café) durante 29 días, y se tomaron muestras de aguas para analizar parámetros físicos-químicos. Obteniendo como resultados valores promedios iniciales de 6,8 de pH, 3,6 dS/m de conductividad eléctrica, 1684.45ppm de solidos totales, y 1029.94ppm de solidos suspendidos, mientras que los promedios finales fluctuaron en 7,5 de pH, 2,82 dS/m de conductividad eléctrica, 881.14ppm de solidos totales, y 411.99ppm de solidos suspendidos y se obtuvo de biogás volúmenes entre 205 cm³ y 415 cm³. Concluyendo que con la incorporación del catalizador fue posible acelerar el

proceso de descomposición anaerobio, además de obtener una remoción del 47, 68% de ST, y 59,99 % de SS (Cruz, 2016).

Para el diseño del reactor UASB para el tratamiento de aguas residuales de la crianza intensiva de cerdos en Lima, Perú, se utilizó reactores de capacidad de 1 m³ con altura de 4 metros, utilizando 4 tipos de tratamientos, los mismo que constaban de 500 ml de agua residual, más 5g/ de inóculo (lodo) por cada 1 litro y a cada uno se le realizó tres repeticiones, el ensayo tuvo una duración de 65 días, también se hizo una caracterización inicial de los parámetros físico-químicos y microbiológicos. Obteniendo como resultados valores de 7,5 de pH, 25°C de temperatura, 7124mg/l de DQO, 4880mg/l de DBO₅, 12100 mg/l de ST, y 6650mg/l de SV y $1,6 \times 10^{-8}$ NMP/100 mL de coliformes termotolerantes. Concluyendo que el parámetro de DQO mostro una remoción del 83,7% (Salazar, 2015).

En la evaluación de remoción de la materia orgánica de un biodigestor tubular a escala piloto para el tratamiento de aguas residuales porcinas en el Municipio de Cumaral- Meta, Colombia, se utilizó tres tratamientos con combinaciones de 1:10, 1:7 y 1:4 relación estiércol y agua residual con tres repeticiones cada uno, con capacidades de 307,23L para las dos primeras y 301,45L para la tercera, los tiempos de retención hidráulica fueron de 5 y 8 días, además de analizar parámetros físicos químicos. Obteniendo como resultados valores de remoción de DBO de 84,95%, DQO de 88,74% para DQO, ST de 81,04%, y SV de 86,5%. Concluyendo que para implementar los biodigestores y sus dimensiones se debe estimar estar el número de cerdos de las granjas para evitar ineficiencia del sistema (Peláez, 2017).

2.2 Bases teóricas

2.1.1 Industria porcícola

El sector porcino es una de las industrias más importantes en el área agraria, ya que dedica sus actividades a la reproducción, crianza, engorde y comercialización de cerdos. Puesto que, se encarga de satisfacer la demanda de la población por medio del consumo de carne y subproductos derivados (Konaté, 2016).

Este tipo de razón social genera a gran rentabilidad económica a los productores, pero debido a producción intensificada desencadenan problemas de carácter ambiental que por lo general no son asumidos por los responsables ya que no realizan ningún tipo de gestión que permita la solución a los aspectos negativos que se desligan (Konaté, 2016).

2.1.2 Aguas residuales porcinas

Las aguas residuales porcinas son el resultado del consumo de agua de la red municipal, están formadas por deyecciones de cerdos, trazas de antibióticos, desperdicios de alimentos, y subproductos utilizados para la limpieza de corrales. Debido a su origen poseen grandes cantidades de materia orgánica o también llamados purines, nutrientes en altas proporciones especialmente el fósforo, nitrógeno y potasio, y en menores proporciones a los metales pesados (Larios, 2016).

El volumen del caudal es directamente proporcional al tamaño de la industria del sector porcícola, lo que quiere decir que a mayor número de rumiantes mayor será la generación del agua residual. Por lo general el sector porcícola debido a las actividades que realizan día a día generan grandes repercusiones a los recursos naturales, especialmente por la producción intensiva de animales y la mala gestión que realizan (Larios, 2016).

2.1.3 Características de las aguas residuales porcinas

Las aguas residuales porcinas presentan características que permiten evaluar los tipos de contaminantes físicos-químicos y microbiológicos presentes en el cuerpo de agua residual. Los parámetros físicos-químicos y microbiológicos típicos se muestran a continuación (Loose, 2017).

- pH
- Temperatura (°C)
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5 $\frac{Mg}{L}$)
- Demanda química de oxígeno (DQO $\frac{Mg}{L}$)
- Sólidos totales (ST $\frac{g}{L}$)
- Sólidos suspendidos totales (SST $\frac{g}{L}$)
- Fósforo (P)
- Nitrógeno Total (NT)

Luego por métodos de análisis de laboratorio permiten contrarrestar si los datos registrados se encuentran dentro de los rangos máximos permisibles establecidos en el marco normativo legal de cada región o país. De no ser así, deberán incorporar tratamientos o sistemas de remediación (Loose, 2017).

2.2.3.1. DBO5

Este parámetro físico es indicador del oxígeno disuelto consumido por oxidación de los procesos degradativos de los organismos específicamente hongos y bacterias del agua residual, para analizar la cantidad de la demanda de oxígeno disuelto se utilizan ensayos de incubación que tardan entre intervalo de tiempo promedio de al menos cinco días en ambientes controlados (Ramírez, 2018).

Además, debe existir la incidencia de la luz solar ya que, por procesos primarios, reaccionan realizando la fotosíntesis y producen cantidades de oxígeno disuelto, interfiriendo en el valor real del medio cultivado (Ramirez, 2018).

2.2.3.2. DQO

La demanda química de oxígeno es un indicador de la cantidad de oxígeno disuelto consumido por la oxidación química de la masa orgánica degradable, para determinar los valores de DQO se utiliza reactivos químicos que reaccionan con los compuestos orgánicos y sales minerales presentes en el agua residual, dejando como subproductos volúmenes de dióxido de carbono, este tipo de análisis tarda apenas 3 horas para conocer la información y entre más elevado son los valores de demanda química de oxígeno mayor es la contaminación del agua. Los parámetros de DBO5 y DQO al dividirlos indican el tipo de contaminación que presenta el caudal residual, además permite conocer el tratamiento más eficiente para reducir la carga contaminante (Lucas, 2016).

2.2.3.3. Nitrógeno total

Este tipo de parámetro resulta de los procesos biológicos de los cerdos, específicamente mediante la orina es expulsado como urea, al entrar en contacto con microorganismos bacteriológicos estos los transforman en amonio, que luego pasa a otras formas de nitrógeno como son nitritos, nitratos siendo estos últimos indicadores de que el agua se ha estabilizado completamente y es clave para el aumento de la masa microbiana. Este elemento al presentarse en elevadas concentraciones y entrar en contacto con los cuerpos de agua receptores donde son descargadas generan serios problemas ambientales, ya que reduce de las aguas superficiales el oxígeno disuelto disponible y proliferan la eutrofización

debido a que se expanden las algas diatomeas por todo el área del cuerpo natural.
(Mantilla, 2017)

2.2.3.4. Fósforo

El fósforo generalmente se produce como un residuo de los detergentes utilizados en las instalaciones de las granjas porcinas por procesos de limpieza, este se presenta en tres tipos de formas, tanto como fosforo orgánico, fósforo inorgánico y ortofosfatos solubles. Es un elemento clave al igual que el nitrógeno en el crecimiento de la microbiota o microorganismos, al presentarse en elevadas concentraciones genera problemas ambientales en los cuerpos de agua ya que sirve de nutriente para las algas y estas al proliferarse compiten por el oxígeno disuelto hasta eliminar por completo a fauna y flora del cuerpo hídrico receptor (Martínez E. , 2018).

2.2.3.5. Carbono orgánico

Este tipo de parámetro permanece en todos los compuestos orgánicos no volátiles que generalmente proviene de origen biológico, en las granjas porcinas las fuentes de carbono orgánico principalmente son las deyecciones de los cerdos, lixiviado, desperdicios de alimentos, productos farmacéuticos, residuos, entre otros. Este elemento al presentarse en elevadas concentraciones reduce la eficiencia de los sistemas de purificación, además corroe los sistemas hidráulicos de polietileno (Meseth, 2018).

Además, se presenta en diferentes formas en las aguas residuales, el más común es el carbono orgánico total ya que se lo suele utilizar como un indicador de la calidad del agua. Para identificar la cantidad de carbono existente en los caudales residuales se utilizan diferentes tipos de métodos, entre los más comunes

se encuentran el método colorimétrico debido a que es un método sencillo (Meseth, 2018).

2.2.3.6. Sólidos totales

Los sólidos totales son indicadores de la presencia de materiales disueltos y suspendidos en el agua. El método de análisis de este parámetro se lo hace de manera cuantitativa por procesos de incineración a cierto volumen o muestra de agua de interés, y las partículas que quedan por la diferencia de los pesos como residuo se entiende como sólidos totales y se expresen en unidad de miligramo sobre litro o en porcentajes de peso, estos valores resultantes va a variar dependiendo del tipo de agua que se esté analizando (Moharram, 2016).

2.2.3.7. Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos totales están íntimamente relacionados con la materia orgánica presente en el cuerpo de agua residual, por lo general para determinar este tipo de parámetros se usa métodos de incineración sometiendo directamente a la muestra de agua temperaturas controladas durante ciertos intervalos de tiempo, durante este proceso la biomasa orgánica se oxida y genera gas carbónico y agua que se volatiliza y los valores generalmente son expresados en unidad de masa sobre volumen (Morales, 2018).

2.2.3.8. pH

El potencial hidrógeno es determinante en que las aguas residuales se presenten acidas o básicas dependiendo de la escala logarítmica o rango en la que se establezcan, también influyen en la adaptación o supervivencia de ciertos microorganismos, en procesos de coagulación, desinfección, y alterar la toxicidad de ciertas sustancias que se encuentren disueltas, pues que entre más bajo sea el pH este presentara características corrosivas (Navarro, 2017).

2.2.3.9. Temperatura

La temperatura del agua residual indica la calidad del agua ya que dependiendo del grado del calor al que se encuentre influirá en la proliferación o retardo de los microorganismos, solubilidad de los gases, disponibilidad del oxígeno disuelto, la ralentización de procesos de desinfección. Por lo general este parámetro se ve influenciada por los vertidos de aguas calientes usadas en procesos productivos de las granjas de cerdos y por la exposición directa de la luz solar hacia los vertederos (Revelo, 2017).

2.1.4 Tratamientos de aguas residuales porcinas

El tratamiento de aguas de origen porcinas permite reducir la carga contaminante orgánica e inorgánica presente en el caudal residual, por lo general este tipo de fuente posee en mayor cantidad materia orgánica, macronutrientes, micronutrientes y carga de metales pesados en pequeñas proporciones. Los tratamientos más usuales que se utiliza consisten en una combinación de procesos entre tratamientos primarios, secundarios y terciarios. El tipo de tratamiento a emplear depende íntimamente de los niveles de contaminación en el que se encuentre el caudal residual. A continuación, se mencionan los tratamientos comúnmente utilizados (Aguilera, 2018).

- Tratamientos físicos
- Tratamientos químicos
- Tratamientos térmicos
- Tratamientos biológicos.

2.2.4.1. Tratamientos físicos

La aplicación de los tratamientos físicos depende del tipo de contaminante del cuerpo de agua residual, inicialmente para apartar los residuos o fracciones de

estos, se utilizan frecuentemente cribas o también llamadas rejillas, seguido de operaciones de desarenado, en el cual este material pétreo tiene como finalidad retener partículas de grasas y aceites, complementados por procesos de coagulación, floculación, para así separar partículas suspendidas por acción de la gravedad (Sarabia, 2015).

2.2.4.2. Tratamientos químicos

Este tipo de tratamiento es utilizado para eliminar sustancias que se encuentran mezcladas en el agua, dependiendo de la clase de contaminante persistente se usan productos de origen sintéticos más adecuados, para que estos reaccionen y favorecer la eliminación (Ortega, 2015).

2.2.4.3. Tratamientos térmicos

Los tratamientos térmicos se basan principalmente en la incorporación de temperaturas elevadas para desestabilizar los contaminantes que se encuentran en el agua residual porcina y como resultado del proceso suelen generar volúmenes de gases, material particulado, y compuestos volátiles. Para emplear tratamientos térmicos el medio utilizado consiste en materiales conductores de electricidad o calor para así incorporar al caudal residual, los sistemas más conocidos son por desorción térmica, electrocoagulación, termo hidrólisis entre otros (Hurtado, 2014).

2.2.4.4. Tratamientos biológicos

Los tratamientos biológicos están basados en procesos de degradación o procesos digestivos, entre estos están el uso de las plantas, estos sistemas comúnmente se los conoce por fitorremediación ya que utilizan la fisiología de ciertas especies capaces de tolerar toxicidad o contaminación, también están la acción de los microorganismos ya que estos toman del agua residual componentes

que son esenciales para el desarrollo microbiano y a su vez reducen la carga contaminante presente en el caudal residual, por lo general por procesos digestivos conocidos como respiración aerobia o anaerobia son capaces de degradar los componentes presentes en el agua residual donde estos últimos se combinan con tecnologías de degradación y aprovechamiento de recursos energéticos como son los biorreactores (Terrerros, 2016).

- Biorreactores

Los biorreactores son recipientes que están elaborados por diferentes materiales tales como poliestireno, acero inoxidable, y vidrio. No obstante, existen reactores de diversas variantes, entre los más comunes están los biorreactores de lecho fluido, de lecho fijo, bolsas descartables, tipo Bach, semicontinuo, y continuo. Las dimensiones que presentan dependen del caudal residual a tratar, y están diseñados para aprovechar el material orgánico mediante procesos de degradación anaerobia, ya que durante los procesos digestivos los microorganismos toman el carbono orgánico como fuente de energía para generar gases como dióxido de carbono, metano, vapor de agua y entre otros, la combinación de todos los gases se lo conoce como biogás. Los parámetros fundamentales a controlar durante todo el proceso de fermentación son el potencial hidrogeno, temperatura, y presión ya que de estos dependerá la eficiencia de la generación del biogás y el tiempo en el que se termine el proceso (Castro, 2014).

2.3 Marco legal

2.1.5 Constitución de la república del Ecuador: Registro oficial 449 de 20 octubre del 2008

Título II Capítulo Segundo, Derechos del Buen Vivir, Sección Primera Agua y Alimentación.

Art. 12.- El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable,

imprescriptible, inembargable y esencial para la vida. Capítulo Séptimo: 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 observarán 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. 73.- El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales. Se prohíbe la introducción de organismos y material orgánico e inorgánico que puedan alterar de manera definitiva el patrimonio genético nacional.

Capítulo Segundo: Biodiversidad y Recursos Naturales Sección Sexta: Agua

Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua. La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

Art. 412.- La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque eco sistémico (Asamblea Nacional Constituyente de Ecuador, 2008).

2.1.6 Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua; Registro oficial 305 de 06 de agosto de 2014

Título I: Disposiciones Preliminares Capítulo I: De los Principios

Art. 1.- Naturaleza jurídica. Los recursos hídricos son parte del patrimonio natural del Estado y serán de su competencia exclusiva, la misma que se ejercerá concurrentemente entre el Gobierno Central y los Gobiernos Autónomos Descentralizados, de conformidad con la Ley. El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida, elemento vital de la naturaleza y fundamental para garantizar la soberanía alimentaria.

Art. 2.- Ámbito de aplicación. La presente Ley Orgánica regirá en todo el territorio nacional, quedando sujetos a sus normas las personas, nacionales o extranjeras que se encuentren en él.

Art. 3.- Objeto de la Ley. El objeto de la presente Ley es garantizar el derecho humano al agua, así como regular y controlar la autorización, gestión, preservación, conservación, restauración, de los recursos hídricos, uso y aprovechamiento del agua, la gestión integral y su recuperación, en sus distintas fases, formas y estados físicos, a fin de garantizar el *sumak kawsay* o buen vivir y los derechos de la naturaleza establecidos en la Constitución. Sección Segunda: Planificación Hídrica

Art. 36.- Deberes estatales en la gestión integrada. El estado y sus instituciones en el ámbito de sus competencias son los responsables de la gestión integrada de los recursos hídricos por cuenca hidrográfica. En consecuencia, son los obligados a:

- a. Promover y garantizar el derecho humano al agua; b. Regular los usos, el aprovechamiento del agua y las acciones para preservarla en cantidad y calidad mediante un manejo sustentable a partir de normas técnicas y parámetros de calidad; c. Conservar y manejar sustentablemente los ecosistemas marino costeros, altoandinos y amazónicos, en especial páramos, humedales y todos los ecosistemas que almacenan agua; d. Promover y fortalecer la participación en la gestión del agua de las organizaciones de usuarios, consumidores de los sistemas públicos y comunitarios del agua, a través de los consejos de cuenca hidrográfica y del Consejo Intercultural y Plurinacional del Agua; y, e. Recuperar y promover los saberes ancestrales, la investigación y el conocimiento científico del ciclo hidrológico.

Capítulo VI: Garantías Preventivas Sección Segunda: Objetivos de Prevención y Control de la Contaminación del Agua

Art. 79.- Objetivos de prevención y conservación del agua. - La Autoridad Única del Agua, la Autoridad Ambiental Nacional y los Gobiernos Autónomos Descentralizados, trabajarán en coordinación para cumplir los siguientes objetivos: a. Garantizar el derecho humano al agua para el buen vivir o sumak kawsay, los derechos reconocidos a la naturaleza y la preservación de todas las formas de vida, en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado y libre de contaminación; b. Preservar la cantidad del agua y mejorar su calidad; c. Controlar y prevenir la acumulación en suelo y subsuelo de sustancias tóxicas, desechos, vertidos y otros elementos capaces de contaminar las aguas superficiales o subterráneas; d. Controlar las actividades que puedan causar la degradación del agua y de los ecosistemas acuáticos y terrestres con ella relacionados y cuando estén degradados disponer su restauración; e. Prohibir, prevenir, controlar y sancionar la contaminación de las aguas mediante vertidos o depósito de desechos sólidos, líquidos y gaseosos; compuestos orgánicos, inorgánicos o cualquier otra sustancia tóxica que alteren la calidad del agua o afecten la salud humana, la fauna, flora y el equilibrio de la vida; f. Garantizar la conservación integral y cuidado de las fuentes de agua delimitadas y el equilibrio del ciclo hidrológico; y, g. Evitar la degradación de los ecosistemas relacionados al ciclo hidrológico.

Art. 80.- Vertidos: prohibiciones y control. Se consideran como vertidos las descargas de aguas residuales que se realicen directa o indirectamente en el dominio hídrico público. Queda prohibido el vertido directo o indirecto de aguas o productos residuales, aguas servidas, sin tratamiento y lixiviados susceptibles de contaminar las aguas del dominio hídrico público.

Art. 81.- Autorización administrativa de vertidos. La autorización para realizar descargas estará incluida en los permisos ambientales que se emitan para el efecto. Los parámetros de la calidad del agua por ser vertida y el procedimiento para el otorgamiento, suspensión y revisión de la autorización, serán regulados por la Autoridad Ambiental Nacional o acreditada, en coordinación con la Autoridad Única del Agua. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados en el ámbito de su competencia y dentro de su jurisdicción emitirán la autorización administrativa de descarga prevista en esta Ley con sujeción a las políticas públicas dictadas por la Autoridad Ambiental Nacional.

Art. 82.- Participación y veeduría ciudadana. Las personas, pueblos y nacionalidades y colectivos sociales, podrán realizar procesos de veedurías, observatorios y otros mecanismos de control social sobre la calidad del agua y de los planes y programas de prevención y control de la contaminación, de conformidad con la Ley (Asamblea Nacional, 2014).

2.1.7 Código Orgánico del Ambiente; Registro Oficial Suplemento 983 de 12 de Abril de 2017

Capítulo V: Calidad de los Componentes Abióticos y Estado de los Componentes Bióticos

Art. 191.- Del monitoreo de la calidad del aire, agua y suelo. La Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, en coordinación con las demás autoridades competentes, según corresponda, realizarán el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, agua y suelo, de conformidad con las normas reglamentarias y técnicas que se expidan para el efecto. Las instituciones competentes en la materia promoverán y fomentarán la generación de la información, así como la investigación sobre la contaminación atmosférica, a los cuerpos hídricos y al suelo, con el fin de determinar sus causas, efectos y alternativas para su reducción.

Art. 196.- Tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales deberán contar con la infraestructura técnica para la instalación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales, de conformidad con la ley y la normativa técnica expedida para el efecto. Asimismo, deberán fomentar el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización, siempre y cuando estas recuperen los niveles cualitativos y cuantitativos que exija la autoridad competente y no se afecte la salubridad pública. Cuando las aguas residuales no puedan llevarse al sistema de alcantarillado, su tratamiento deberá hacerse de modo que no perjudique las fuentes receptoras, los suelos o la vida silvestre. Las obras deberán ser previamente aprobadas a través de las autorizaciones respectivas emitidas por las autoridades competentes en la materia.

2.1.8 Acuerdo Ministerial No. 061; Reforma del libro vi del texto unificado de legislación secundaria de 04 de mayo de 2015

CAPÍTULO VIII CALIDAD DE LOS COMPONENTES BIÓTICOS Y ABIÓTICOS, SECCIÓN II CALIDAD DE COMPONENTES BIÓTICOS, PARÁGRAFO I DEL AGUA

Art. 209 De la calidad del agua.- Son las características físicas, químicas y biológicas que establecen la composición del agua y la hacen apta para satisfacer la salud, el bienestar de la población y el equilibrio ecológico. La evaluación y control de la calidad de agua, se la realizará con procedimientos analíticos, muestreos y monitoreos de descargas, vertidos y cuerpos receptores; dichos lineamientos se encuentran detallados en el Anexo I. En cualquier caso, la Autoridad Ambiental Competente, podrá disponer al Sujeto de Control responsable de las descargas y vertidos, que realice muestreos de sus descargas, así como del cuerpo de agua receptor. Toda actividad antrópica

deberá realizar las acciones preventivas necesarias para no alterar y asegurar la calidad y cantidad de agua de las cuencas hídricas, la alteración de la composición físico-química y biológica de fuentes de agua por efecto de descargas y vertidos líquidos o disposición de desechos en general u otras acciones negativas sobre sus componentes, conllevará las sanciones que correspondan a cada caso.

Art. 210 Prohibición.- De conformidad con la normativa legal vigente: a) Se prohíbe la utilización de agua de cualquier fuente, incluida las subterráneas, con el propósito de diluir los efluentes líquidos no tratados; b) Se prohíbe la descarga y vertido que sobrepase los límites permisibles o criterios de calidad correspondientes establecidos en este Libro, en las normas técnicas o anexos de aplicación; c) Se prohíbe la descarga y vertidos de aguas servidas o industriales, en quebradas secas o nacimientos de cuerpos hídricos u ojos de agua; y, d) Se prohíbe la descarga y vertidos de aguas servidas o industriales, sobre cuerpos hídricos, cuyo caudal mínimo anual no esté en capacidad de soportar la descarga; es decir que, sobrepase la capacidad de carga del cuerpo hídrico. La Autoridad Ambiental Nacional, en coordinación con las autoridades del Agua y agencias de regulación competentes, son quienes establecerán los criterios bajo los cuales se definirá la capacidad de carga de los cuerpos hídricos mencionados.

Art. 211 Tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales. - La Autoridad Ambiental Competente en coordinación con la Agencia de Regulación y Control del Agua, verificará el cumplimiento de las normas técnicas en las descargas provenientes de los sistemas de tratamiento implementados por los Gobiernos Autónomos Descentralizados. Las actividades productivas, se sujetarán a lo dispuesto en el presente Libro y a la normativa técnica que para el efecto emita la Autoridad Ambiental Nacional. La gestión y el mantenimiento de sistemas de tratamiento de agua deberán ser monitoreados y evaluados por medio de los mecanismos de control y seguimiento establecidos en este Libro.

2.1.9 Acuerdo Ministerial No.097A; Registro Oficial 387 de 04 de Noviembre de 2015

5.2.3 Normas generales para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado

5.2.3.1 Se prohíbe la descarga de residuos líquidos sin tratar hacia el sistema de alcantarillado, provenientes del lavado y/o mantenimiento de vehículos aéreos y terrestres, así como el de aplicadores manuales y aéreos, recipientes, empaques y envases que contengan o hayan contenido agroquímicos u otras sustancias tóxicas. Las descargas tratadas deben cumplir con los valores establecidos en la Tabla 8.

5.2.3.2 Las descargas líquidas provenientes de sistemas de potabilización de agua no deberán disponerse en sistemas de alcantarillado, a menos que exista capacidad de recepción en la planta de tratamiento de aguas residuales, ya sea en funcionamiento o proyectadas en los planes maestros o programas de control de la contaminación, en implementación. En cuyo caso se deberá contar con la autorización de la Autoridad Ambiental Nacional o la Autoridad Ambiental Competente que corresponda.

5.2.3.3 Se prohíbe descargar en un sistema público de alcantarillado sanitario, combinado o pluvial cualquier sustancia que pudiera bloquear los colectores o sus

accesorios, formar vapores o gases tóxicos, explosivos o de mal olor, o que pudiera deteriorar los materiales de construcción en forma significativa. Esto incluye las siguientes sustancias y materiales, entre otros: a) Fragmentos de piedra, cenizas, vidrios, arenas, basuras, fibras, fragmentos de cuero, textiles, etc. (los sólidos no deben ser descargados ni aún después de haber sido triturados). b) Resinas sintéticas, plásticos, cemento, hidróxido de calcio. c) Residuos de malta, levadura, látex, bitumen, alquitrán y sus emulsiones de aceite, residuos líquidos que tienden a endurecerse. d) Gasolina, petróleo, aceites vegetales y animales, aceites minerales usados, hidrocarburos clorados, ácidos, y álcalis. e) Cianuro, ácido hidrazoico y sus sales, carburos que forman acetileno y sustancias tóxicas.

5.2.3.4 La EPS podrá solicitar a la Entidad Ambiental de Control, la autorización necesaria para que los regulados, de manera parcial o total descarguen al sistema de alcantarillado efluentes, cuya calidad se encuentre por encima de los estándares para descarga a un sistema de alcantarillado, establecidos en la presente norma. La EPS deberá cumplir con los parámetros de descarga hacia un cuerpo de agua, establecidos en esta Norma.

5.2.3.5 Las descargas al sistema de alcantarillado provenientes de actividades sujetas a regularización, deberán cumplir, al menos, con los valores establecidos en la TABLA 8, en la cual las concentraciones corresponden a valores medios diarios (Ministerio del Ambiente, 2015c).

3. Materiales y métodos

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

3.1.1.1. *Investigación documental*

Chunga et al., (2017) señala que la investigación documental se basa principalmente en la revisión y análisis de datos desde fuentes secundarias de carácter académicas tales como libros, artículos, tesis, páginas web, entre otros.

Se consideró este tipo de investigación debido a que se consultó y recopiló información de otros autores, la misma fue sintetizada para desarrollar varias secciones de la estructura de la presente investigación.

3.1.1.2. *Investigación de campo y laboratorio*

Campos, (2017) menciona que la investigación de campo se fundamenta en la recopilación de datos directamente de las características del objeto de estudio en el lugar donde este se presenta mediante el uso de herramientas de recolección.

Se consideró este tipo de investigación ya que se obtendrá información in situ mediante fichas de observación sobre las particularidades del comportamiento de la temperatura y potencial hidrogeno durante el proceso de digestión anaerobio de las aguas residuales de origen porcino.

Rodríguez, (2019) alude que en la investigación experimental del investigador, somete al fenómeno de interés a procesos sintetizados y controlados con la finalidad de estudiar el comportamiento y efectos que surjan.

Se usó este tipo de investigación debido a que se estudió los volúmenes de agua residual en unidades controladas con la finalidad de obtener datos sobre el potencial metanogénico y energético que estos presenten.

3.1.1.3. Investigación experimental

Hernández et al., (2020) indica que la investigación experimental se basa en someter en ambientes controlados las variables independientes con la finalidad de provocar alguna reacción o cambio en el objeto a estudiar y este pueda ser observado y probado en la realidad.

Se consideró investigación experimental ya que se pretende maniobrar las dosis del volumen del agua residual porcina en los reactores en diferentes tratamientos con el propósito de identificar alguna posible reacción en la generación del biogás y esta puede ser medida.

3.1.2 Diseño de investigación

El diseño de la investigación que se utilizó es de carácter experimental puesto que se pretender alterar o modificar la variable independiente volúmenes de aguas residuales porcinos. Puesto que estos fueron almacenados dentro de dos tipos de biorreactores con características diferentes y cada uno contara de 3 repeticiones.

Luego mediante procesos de fermentación o digestión anaerobia los microorganismos en ausencia de oxígeno consumieron la materia orgánica del caudal residual ya que por reacciones digestivas generaron como efecto o producto gases de efecto invernadero (CH_4 , CO_2) que fueron aprovechados en la producción de biogás.

3.2 Metodología

Con esta investigación experimental se evaluó el potencial energético generado en diferentes sustratos orgánicos y de esta forma puedan implementarse tecnologías.

Se empleó un método comparativo con el fin de determinar la eficiencia del proceso anaerobio en la descontaminación del agua residual porcina a partir de los

análisis iniciales y finales del agua, de acuerdo a los 6 tratamientos empleados más un testigo, se determinan los cambios radicales en cada uno de ellos.

3.2.1 Variables

3.2.1.1. Variable independiente

- Volumen de agua residual porcino (L)
- Tiempo (días)
- DBO ($\frac{mg}{L}$)
- DQO ($\frac{mg}{L}$)
- Nitrógeno total ($\frac{mg}{L}$)
- Fósforo ($\frac{mg}{L}$)
- Sólidos totales ($\frac{mg}{L}$)
- Sólidos suspendidos totales ($\frac{mg}{L}$)
- pH
- Temperatura (°C)

Los reactores que almacenaron el agua residual porcícola tuvieron diferentes características y se realizaron dentro de estos monitoreos de la variable temperatura y pH durante 2 meses ya que se controló que las condiciones del medio sean las más óptimas para el desarrollo de las etapas de la fermentación anaerobia.

3.2.1.2. Variable dependiente

- Presión de biogás
- Volumen de biogás (m³)

3.2.2 Tratamientos

Para el desarrollo del trabajo de investigación se utilizó 6 tipos de tratamientos, el T1 constaron de 21 litros de agua residual más un sistema de biorreactor, el T2 estuvo compuesto por 24 litros de agua residual más biorreactor, el T3 estuvo formado por 22 litros de agua residual más el sistema de biorreactor, el T4 constó de 20 litros de agua más un sistema de biorreactor, el T5 estuvo formado de 23 litros de agua más un sistema de biorreactor, el T6 por 21 litros de agua más un biorreactor cada uno constó de 3 repeticiones más 1 testigo absoluto (ver tabla 1).

Tabla 1. Descripción de tratamientos

Tratamientos	Composición
T1	21L de agua residual + biorreactor simple 30 días
T2	22L de agua residual+ biorreactor simple+ 30 días
T3	24L de agua residual + biorreactor simple+ 30 días
T4	20L + 20L de agua residual + biorreactor compuesto + materia orgánica + 30 días
T5	21L + 21L de agua residual + biorreactor compuesto + materia orgánica + 30 días
T6	23L + 23L de agua residual + biorreactor compuesto + materia orgánica + 30 días

Autor, 2021

3.2.3 Diseño experimental

Se utilizó en esta investigación un diseño completamente al azar puesto que las características que presenta las unidades de estudio son completamente

homogéneas es así que se usaron 6 tratamientos formados por 2 tipos de biorreactores con características diferentes más dosis distintas de agua residual porcina y cada uno tendrá 3 repeticiones, además los tratamientos fueron establecidos de manera aleatoria. Para este estudio fue necesario tomar como referencia al modelo lineal ya que delimita la estructura del diseño completamente al azar (DCA).

3.2.4 Recolección de datos

3.2.4.1. Recursos

- Recursos materiales

Se empleó varias resmas de hojas A4, impresora HP OFFICEJET PRO 6950, laptop marca ASUS y memoria flash de 64gb.

- Recurso software

Se usó el paquete completo de Microsoft office 2019, paquetes estadísticos de minitab 17 para el diseñar las tablas y gráficos de los resultados que se obtenga.

- Equipos de protección personal

Para evitar que se propaguen microorganismos en la salud de los investigadores al recoger las muestras de agua residual porcina se debió usar guantes, lentes de seguridad, mascarilla, botas de gomas y vestimenta contra agentes biológicos.

- Equipos de campo

Se emplearon fichas de recolección de datos para registrar el comportamiento del pH y temperatura durante el proceso de digestión anaerobia, botellas plásticas para la recolección de las muestras de agua, y adhesivos para identificar las características de las muestras.

- Materiales y equipos de laboratorio
 - Vasos precipitados Nalgene (100ml)

- Tubos de ensayo (2cm ancho y 5cm largo)
- pH metro (Metrohm)
- Papel filtro
- Mortero Adamas-Beta (160mm)
- Crisol de porcelana
- Agitador magnético (Thermo Fisher Scientific)
- Balanza analítica (Gram Cap)
- Mufla (Samo Thermal)

3.2.5 Métodos y técnicas

3.2.5.1. *Cuantificación del volumen del agua residual producida en la planta porcina mediante caracterización*

Se cuantificó el volumen de agua residual generada en la planta porcina para esto se tomaron como referencia la guía ambiental del sector porcícola de la Sociedad de agricultores de Colombia, (2002), y norma NTE INEN-ISO 8316 para medir el caudal de líquidos en conductos cerrados. método por recogida de líquido en un tanque volumétrico del Instituto Ecuatoriano de Normalización, (2014) ya que establecen procesos para calcular la cantidad de agua residual generada en las actividades de limpieza mediante aforo directo.

Protocolo de cuantificación de agua residual

1. Identificar el número de áreas existentes en las instalaciones de la granja.
2. Reemplazar los valores registrados en la fórmula de aforo directo o medida

volumétrica de las descargas. $Q = \frac{v(l)}{t(s)}$

3. Conocido el volumen del caudal de limpieza, multiplicar por el tiempo de lavado o tiempo que permanecen abiertas las llaves ya que así se obtiene la cantidad de agua residual por galpón (ver anexo 2).

4. Calcular el volumen de excretas, para esto usar la fórmula de volumen de excretas. $Ve = 0,05 * \text{Números de animales} * \text{peso promedio por categorías}$ (ver anexo 3 y 4) (Alonso et al., 2014).

5. Reemplazar los valores en la fórmula de volumen de residual diario.

$$Vr = Ve * Va \text{ limpieza}$$

6. Registrar el caudal diario de agua residual porcino.

7. Repetir el proceso durante 1 semana.

3.2.5.2. Determinación de la variación del pH y temperatura en la producción de biogás mediante monitoreo

Se realizó el monitoreo de los parámetros físicos de temperatura y potencia hidrógeno se empleará un equipo multifunción y una ficha de observación para registrar las variables mencionadas, los rangos en los que deberán oscilar la temperatura serán de 35°C a 44°C y el pH deberá mantenerse entre 6,5 y 7,5 para asegurar un buen rendimiento de la degradación. Los números de monitoreos fueron de una vez por día en horarios diurnos de lunes a domingo durante de 8 semanas, ya que es el tiempo tentativo en que tardará el ensayo. En total se debió registrar 56 datos de pH y 56 valores de temperatura en unidades de centígrados, al final dicha información deberá ser promediada, analizada y comparada con los parámetros establecidos en el manual para biogás de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), (2011) para así identificar si hay variabilidad entre la información.

Después, para evaluar el gas generado se empleó la siguiente fórmula:

$$PV = nRT$$

Dónde:

P = Presión de los gases

V = Volumen de los gases

n = Número de moles de gases

R = Constante de los gases

T = Temperatura de los gases

3.2.5.3. Propuesta del mejor biorreactor para aprovechamiento energético en la planta porcina

Una vez identificado durante todo el proceso del ensayo al biorreactor más eficiente se debió proponer al personal administrativo de la granja porcina mediante material didáctico el prototipo y se debió repartir trípticos con la información principal del biodigestor tales como dimensiones, caudal residual tratado, tiempo de ensayo, comportamiento de las variables de pH, temperatura y principales tipos de aprovechamiento energético, ya que así de primera instancia, esta investigación servirá de base en la granja porcina para reutilizar los volúmenes de aguas residuales generados como producto de las actividades diarias.

3.2.6 Análisis estadístico

El DCA (Diseño Completamente al Azar), del tratamiento asignado completamente al azar a las unidades experimentales, por lo tanto, los mecanismos experimentales son establecidos completamente al azar a los tratamientos sin ninguna otra limitación y para el transcurso de evaluación de las variables se usan la prueba de Tukey al 95% de probabilidad.

Modelo A: $Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$

Dónde:

μ = media general

T_i = efecto de i-ésimo tratamiento

$E_{ij} \sim N(\mu - \sigma^2)$ y de forma independiente

3.2.6.1. Medidas de tendencia central y variabilidad

➤ Media

La media es el estadístico más manipulado para recapitular el conjunto de datos cuantitativos.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

➤ Desviación estándar

Es el promedio de desviación de las poblaciones con respecto a la media. La desviación estándar es la raíz cuadrada positiva de la varianza y se convierte en la medida de variabilidad más utilizada.

$$DE = \sqrt{\frac{\sum Ix - \mu^2 I}{N}}$$

Tabla 2. Análisis ANOVA

Fuente de variación	Grados de libertad
Tratamientos (T-1)	6-1 = 5
Repeticiones (R -1)	3-1 = 2
Error experimental	5*2 = 10
Total (T*R)-1	(6*3)-1 = 17

Autor, 2021

4. Resultados

4.1 Cuantificación del caudal volumétrico en la planta porcina mediante caracterización.

4.1.1 Datos para el cálculo del caudal

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 3 con respecto a la semana uno se concreta que la granja utilizó 130L, el cual corresponde al día 3 en la sección de lechonas, la cual cuenta con un total de 30 animales y el valor mínimo de 30L fue utilizado en la sección de las reproductoras, estas cuentan con un total de 5 animales.

Tabla 3. Monitoreo del caudal – semana 1.

# Días	H. Inicio	H. Final	Tiempo (min)	Volumen (L)
1	11:30	11:35	5	105
2	11:40	11:45	5	45
3	11:50	11:55	5	130
4	12:00	12:05	5	40
5	12:10	12:15	5	30
6	12:20	12:25	5	40
7	12:30	12:35	5	110
TOTAL			5	500

Autor, 2021

Con respecto al monitoreo del caudal en la segunda semana se observa variación en el corral de las precebas, obteniendo 120L en un total de 50 animales en el día uno. Y como consumo mínimo de 40L se encuentran los verracos con un total de 3 animales.

Tabla 4. Monitoreo del caudal – semana 2.

# Días	H. Inicio	H. Final	Tiempo (min)	Volumen (L)
1	11:30	11:35	5	120
2	11:40	11:45	5	40
3	11:50	11:55	5	65
4	12:00	12:05	5	45
5	12:10	12:15	5	90
6	12:20	12:25	5	100
7	12:30	12:35	5	40
TOTAL			5	500

Autor, 2021

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 5 con respecto a la semana tres se concreta que la granja utilizó 100L, el cual corresponde al día 3 en la sección de lechonas, la cual cuenta con un total de 30 animales y el valor mínimo de 40L fue utilizado en la sección de los verracos, estas cuentan con un total de 3 animales.

Tabla 5. Monitoreo del caudal – semana 3.

# Días	H. Inicio	H. Final	Tiempo (min)	Volumen (L)
1	11:30	11:35	5	80
2	11:40	11:45	5	45
3	11:50	11:55	5	100
4	12:00	12:05	5	60
5	12:10	12:15	5	95
6	12:20	12:25	5	80
7	12:30	12:35	5	40
TOTAL			5	500

Autor, 2021

En la tabla 6 se individualiza el monitoreo del caudal de la granja porcina con respecto a la semana cuatro, el monitoreo se realizó durante 7 días en un horario establecido en la cual se desglosan los siguientes valores: el tiempo promedio de la medición de 5 minutos por hora, descifrando un volumen total de 500 litros en la que se describe que el corral con 12 animales denominados cebas obtuvieron un consumo de 100L en el día dos y como mínimo de 45L el corral de las cochinatas un total de 5 animales en el día cuatro.

Tabla 6. Monitoreo del caudal – semana 4.

# Días	H. Inicio	H. Final	Tiempo (min)	Volumen (L)
1	11:30	11:35	5	65
2	11:40	11:45	5	100
3	11:50	11:55	5	80
4	12:00	12:05	5	45
5	12:10	12:15	5	70
6	12:20	12:25	5	60
7	12:30	12:35	5	80
TOTAL			5	500

Autor, 2021

Para calcular el volumen del caudal de la granja porcina se aplica la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{v(l)}{t(s)}$$

$$Q = \frac{500l}{300s}$$

$$Q = 1.67l/s$$

En la tabla 7 se especifica el monitoreo de excretas de la granja porcina, el monitoreo se realizó durante 30 días en un horario establecido (ver tabla 7) en la cual se desglosan los siguientes valores: 133 animales porcinos considerando el peso promedio de 67.57 kg y un volumen promedio semanal de 500 litros.

Tabla 7. Monitoreo de excretas.

# Días	# Animales	Peso (kg) promedio	Volumen excretas (kg)
1	50	32	215
2	12	50	51.6
3	30	38	129
4	5	130	30.85
5	3	90	19.2
6	30	23	69
7	3	110	18.51
TOTAL	133		

Autor, 2021

Para calcular el volumen de excretas se aplica la siguiente fórmula:

$Ve = 0,05 * \text{Números de animales} * \text{peso promedio por categorías}$

$Ve = 0,05 * 50 * 32kg$

$Ve = 80 kg$

$Ve = 0,05 * 12 * 50kg$

$Ve = 30 kg$

$Ve = 0,05 * 30 * 38kg$

$Ve = 57 kg$

$Ve = 0,05 * 5 * 130kg$

$Ve = 32.5 kg$

$Ve = 0,05 * 3 * 90kg$

$Ve = 13.5 kg$

$Ve = 0,05 * 30 * 23kg$

$$Ve = 34.5 \text{ kg}$$

$$Ve = 0,05 * 3 * 110 \text{ kg}$$

$$Ve = 16.5 \text{ kg}$$

4.2 Presentación de la aplicabilidad del tratamiento anaeróbico en aguas provenientes de la industria porcina para la producción de biogás.

De acuerdo al proceso de digestión anaerobia para la generación de biogás se realizó normalmente en tanques cerrados denominados biorreactores, estos presentan beneficios económicos y ambientales como consecuencia de la producción de energía.

Según la aplicación de los biorreactores se realizó el siguiente diseño:

En la tabla 8 se especifica el planteamiento del biorreactor simple en la superficie el cual se encuentra proporcionado en cantidades de litros y el volumen de biogás proporcionado en centímetros cúbicos.

Tabla 8. Biodigestor simple.

Volumen (L)	Volumen (biogás)
21L	9000cm ³
22L	8000cm ³
24L	6000cm ³

Autor, 2021

En la tabla 9 se especifica el planteamiento de los biorreactores subterráneos, el cual se encuentra proporcionado en cantidades de litros y el volumen de biogás proporcionado en centímetros cúbicos.

Tabla 9. Biodigestor compuesto.

Volumen (L)	Volumen (biogás)
20L+20L	20000cm ³
21L+21L	18000cm ³
23L+23L	14000cm ³

Autor, 2021

En el tratamiento anaeróbico de aguas residuales porcinas se emplean biodigestores, se especifica que el proceso se realizó de forma continua y el efluente a tratar es el líquido.

Estos reactores tienen como característica que el agua residual no esté en contacto con el aire, la temperatura de digestión puede estar entre 25 - 29°C y cuenta con la facilidad de conservar la temperatura ambiente, poseen la capacidad para tratar 30L con respecto al volumen de aguas residuales y ejerce la presión necesaria para la producción del biogás.

Su aplicabilidad es eficiente y recomendable por la alta calidad del biogás y una mejor depuración de las aguas residuales que se encuentran en fase de residuo proveniente de la industria porcina.

Con respecto al biorreactor simple este cumplió el siguiente monitoreo con respecto a los parámetros físicos.

En la tabla 10 se especifica el monitoreo referente al parámetro pH durante cuatro semanas, los datos varían significativamente en cada una de las semanas monitoreadas.

Tabla 10. Monitoreo del parámetro pH del biorreactor simple.

# Semanas	N° Tratamientos	Resultado pH
Semana 1	T1 (21L + agua residual porcina + 30 días)	6.0
	T2 (24L de agua residual+ biorreactor + 30 días)	6.5
	T3 (22L de agua residual + biorreactor + 30 días)	6.5
Semana 2	T1 (21L + Agua residual porcina + 30 días)	6.5
	T2 (24L de agua residual+ biorreactor + 30 días)	6.0
	T3 (22L de agua residual + biorreactor + 30 días)	6.0
Semana 3	T1 (21L + Agua residual porcina + 30 días)	7.0
	T2 (24L de agua residual+ biorreactor + 30 días)	6.5
	T3 (22L de agua residual + biorreactor + 30 días)	6.5
Semana 4	T1 (21L + Agua residual porcina + 30 días)	7.5
	T2 (24L de agua residual+ biorreactor + 30 días)	7.0

T3 (22L de agua residual +
biorreactor + 30 días) 7.0

Autor, 2021

En la tabla 11 se especifica el monitoreo referente al parámetro Temperatura °C durante cuatro semanas, los datos varían significativamente en cada una de las semanas monitoreadas.

Tabla 11. Monitoreo del parámetro Temperatura biorreactor simple.

# Semanas	Nº Tratamientos	Resultado Temperatura
Semana 1	T1	25 °C
	T2	25 °C
	T3	27 °C
Semana 2	T1	26°C
	T2	25°C
	T3	26°C
Semana 3	T1	27°C
	T2	26°C
	T3	25°C
Semana 4	T1	27°C
	T2	27°C
	T3	26°C

Autor, 2021

De acuerdo al análisis de la tabla 12, especifica los datos monitoreados durante cuatro semanas a través del parámetro pH, el cual se encuentra en el rango permitido de 6.0 a 7.0 considerándose como resultado final un pH neutro.

Tabla 12. Monitoreo del parámetro pH biorreactor compuesto.

# Semanas	N° Tratamientos	Resultado pH
Semana 1	T4	6.5
	T5	6.0
	T6	6.5
Semana 2	T4	6.5
	T5	7.0
	T6	7.0
Semana 3	T4	6.5
	T5	6.5
	T6	7.0
Semana 4	T4	7.0
	T5	7.0
	T6	6.5

Autor, 2021

De acuerdo al análisis de la tabla 13, especifica los datos monitoreados durante cuatro semanas a través del parámetro Temperatura °C, el cual se encuentra en el rango permitido de 25 a 29°C considerándose como resultado final temperatura ambiente.

Tabla 13. Monitoreo del parámetro Temperatura biorreactor compuesto.

# Semanas	N° Tratamientos	Resultado Temperatura
Semana 1	T4	28 °C
	T5	27 °C
	T6	25 °C
Semana 2	T4	29°C
	T5	26°C
	T6	25°C
Semana 3	T4	28°C
	T5	28°C
	T6	27°C
Semana 4	T4	29°C
	T5	28°C
	T6	28°C

Autor, 2021

4.2.1 Análisis estadístico parámetro pH.

A continuación, se especifica la tabla 14 referente a la estadística del parámetro pH en la que se demuestra el análisis de varianza.

Tabla 14. Análisis de la Varianza (SC tipo III).

FV	GL	SC	CM	F	P - Valor
Modelo	0.41	5	0.08	0.45	0.8044
Factor A Reactor	3.8E-03	1	3.8E-03	0.02	0.8865
Factor B Materia	0.12	2	0.06	0.34	0.7132
Factor A*B	0.28	2	0.14	0.78	0.4724
Error	3.22	18	0.18		
Total	3.63	23			

Autor, 2021

Realizando el análisis de diseño factorial se pudo observar que el factor referente al biorreactor concerniente a la materia no influye significativamente, así como en su interacción.

En conclusión, de acuerdo a la estadística aplicada con respecto a las hipótesis:

H_0 = se acepta la hipótesis nula, ya que $P < 0.05$

H_1 = se rechaza la hipótesis alternativa ya que el valor de probabilidad es significativamente igual.

4.2.2 Prueba de Tukey del parámetro pH.

A continuación, referente a la tabla 15 se especifica la prueba de Tukey con respecto al parámetro pH.

Los resultados obtenidos en el método de Tukey reflejado en la tabla 15, manifiestan que los tratamientos compuestos por agua residual porcina en diferentes niveles de volumen en comparación con las 3 repeticiones, mantienen un nivel de significancia de 0.21 el cual representa un valor mayor a 0.05 por ende se acepta la hipótesis nula concluyendo que estos no tienen una diferencia estadísticamente entre sus resultados.

Tabla 15. Test: Tukey agrupación.

Factor A	Factor B	Media	N	Agrupación
2	2	6.45	4	A
2	3	6.50	4	A
1	1	6.55	4	A
1	2	6.58	4	A
1	3	6.73	4	A
3	1	6.83	4	A

Autor, 2021

Referente a la gráfica 1 se puede comprobar el cambio drástico del parámetro pH en la que se puede visualizar el grado de probabilidad al 95% con una inconsistencia del 5% de grados de diferencia. Obteniendo como resultado final la estabilidad apropiada del pH con respecto al biorreactor simple.

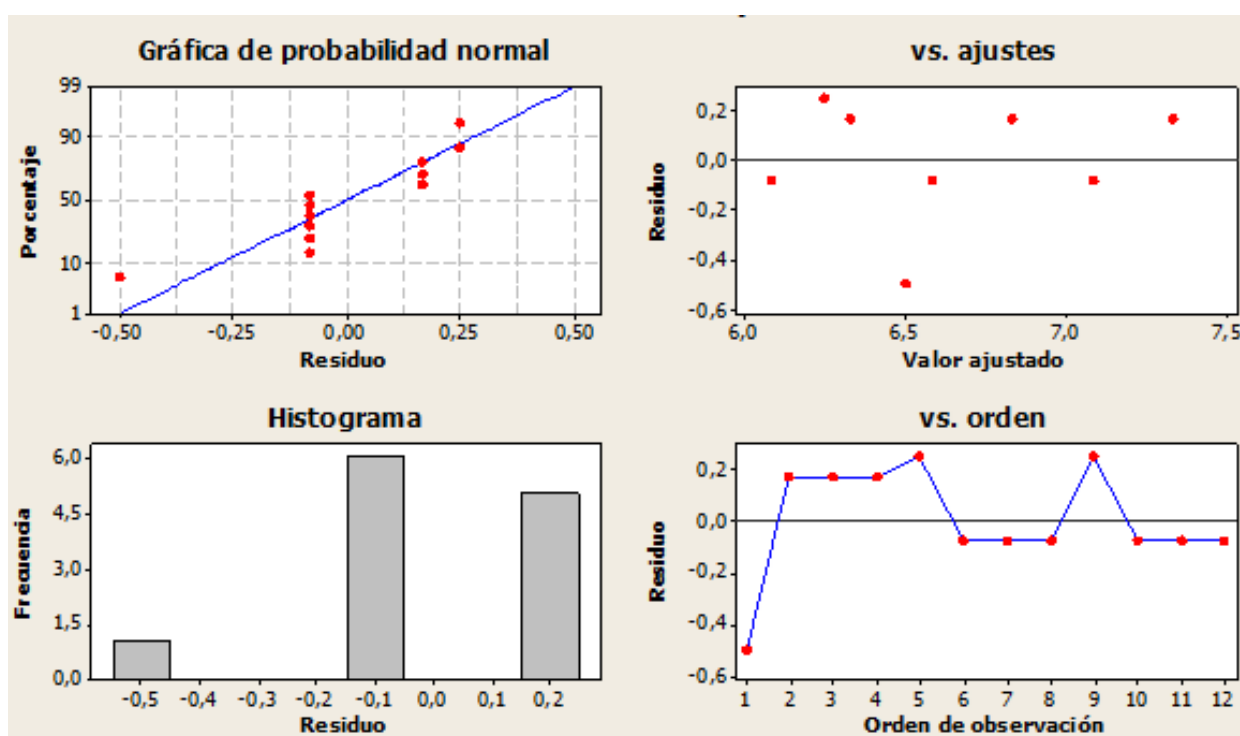


Figura 1. Gráfica de cambio y probabilidad con respecto al parámetro pH biorreactor simple.

Autor, 2021

4.2.3 Análisis estadístico del parámetro temperatura.

Con los datos obtenidos a través de la ejecución del diseño experimental con respecto al parámetro temperatura, la tabla 16, se muestran los siguientes resultados del análisis estadístico.

Tabla 16. Análisis estadístico del parámetro Temperatura.

FV	GL	SC	CM	F	P - Valor
Modelo	24.38	5	4.88	0.96	0.4668
Factor A Reactor	1.04	1	1.04	0.21	0.6558
Factor B Materia	5.25	2	2.63	0.52	0.6044
Factor A*B	18.08	2	9.04	1.78	0.1965
Error	91.25	18	5.04		
Total	115.63	23			

Autor, 2021

Realizando el análisis de diseño factorial se pudo observar que el factor referente al biorreactor concerniente a la materia no influye significativamente, así como en su interacción.

En conclusión, de acuerdo a la estadística aplicada con respecto a las hipótesis:

H_0 = se acepta la hipótesis nula, ya que $P < 0.05$.

H_1 = se rechaza la hipótesis alternativa ya que el valor de probabilidad es significativamente igual.

4.2.4 Prueba de Tukey parámetro Temperatura.

A continuación, referente a la tabla 17 se especifica la prueba de Tukey con respecto al parámetro Temperatura.

Los resultados obtenidos en el método de Tukey reflejado en la tabla 17, manifiestan que los tratamientos compuestos por agua residual porcina en diferentes niveles de volumen en comparación con las 3 repeticiones, mantienen

un nivel de significancia de 0.21 el cual representa un valor mayor a 0.05 por ende se acepta la hipótesis nula concluyendo que estos no tienen una diferencia estadísticamente entre sus resultados.

Tabla 17. Test: Tukey agrupación.

Factor A	Factor B	Media	N	Agrupación
2	3	26.75	4	A
1	3	27.50	4	A
1	2	27.50	4	A
1	1	28.00	4	A
2	1	28.00	4	A
2	2	29.25	4	A

Autor, 2021

Referente a la gráfica 2 se puede comprobar el cambio drástico del parámetro Temperatura en la que se puede visualizar el grado de probabilidad al 95% con una inconsistencia del 5% de grados de diferencia. Obteniendo como resultado final la estabilidad apropiada de la temperatura con respecto al biorreactor simple.

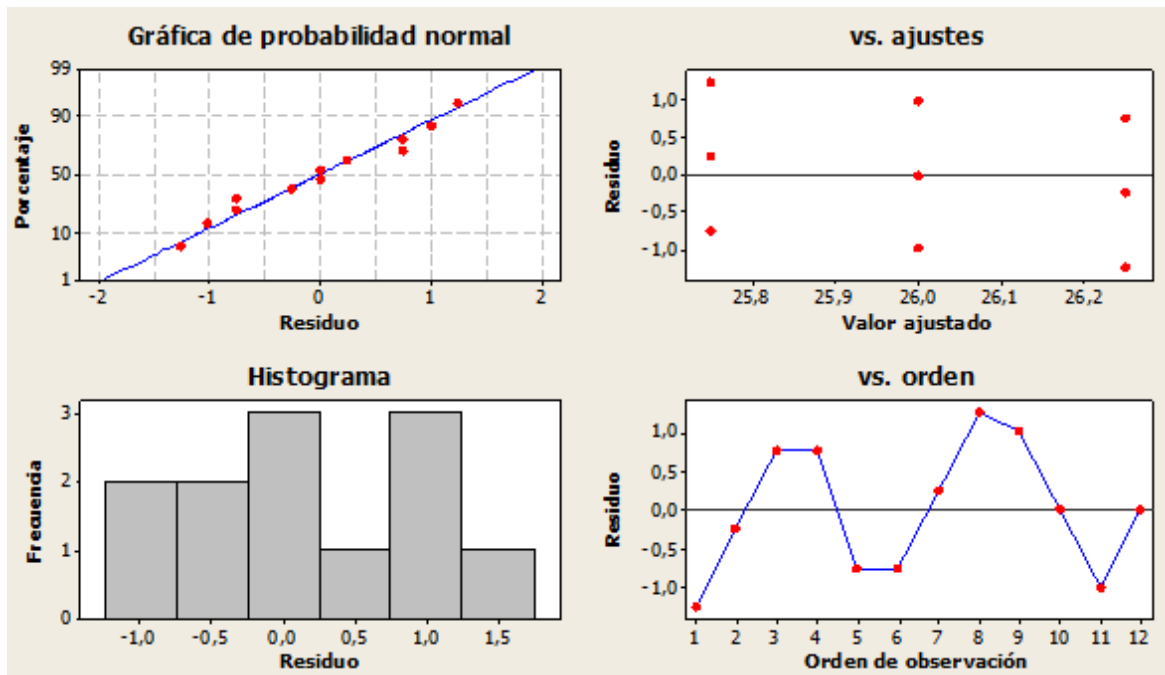


Figura 2. Gráfica de cambio y probabilidad con respecto al parámetro Temperatura. Autor, 2021

Para proceder con la formula presentada es necesario transformar la temperatura de °C a °K utilizando la siguiente fórmula:

$$^{\circ}K = ^{\circ}C + 273.15$$

$$^{\circ}K = 25^{\circ}C + 273.15 = 298.15^{\circ}K$$

Se procedió a calcular la cantidad de moles de biogás para lo cual se aplicó la siguiente formula:

$$n = \frac{PV}{RT}$$

$$n = \frac{(1atm)(21L)}{\left(0.082 \frac{atm * L}{mol * ^{\circ}K}\right) 298.15^{\circ}K} = 0.858 \text{ mol}$$

Para cumplir con la presión de los biorreactores realizamos el siguiente cálculo:

$$P = \frac{NRT}{V}$$

$$P = \frac{(0.852mol)(0.082 \frac{atm * L}{mol * ^{\circ}K})(298.15^{\circ}K)}{21L}$$

$$P = 0.9919 \text{ atm}$$

$$P = \frac{NRT}{V}$$

$$P = \frac{(0.9751 \text{ mol})(0.082 \frac{\text{atm} * \text{L}}{\text{mol} * ^\circ \text{K}})(302.15^\circ \text{K})}{22 \text{ L}}$$

$$P = 0.998 \text{ atm}$$

$$P = \frac{NRT}{V}$$

$$P = \frac{(0.887 \text{ mol})(0.082 \frac{\text{atm} * \text{L}}{\text{mol} * ^\circ \text{K}})(300.15^\circ \text{K})}{24 \text{ L}}$$

$$P = 0.999 \text{ atm}$$

$$P = \frac{NRT}{V}$$

$$P = \frac{(0.931 \text{ mol})(0.082 \frac{\text{atm} * \text{L}}{\text{mol} * ^\circ \text{K}})(301.15^\circ \text{K})}{20 \text{ L}}$$

$$P = 0.998 \text{ atm}$$

$$P = \frac{NRT}{V}$$

$$P = \frac{(0.809 \text{ mol})(0.082 \frac{\text{atm} * \text{L}}{\text{mol} * ^\circ \text{K}})(298.15^\circ \text{K})}{21 \text{ L}}$$

$$P = 0.998 \text{ atm}$$

$$P = \frac{NRT}{V}$$

$$P = \frac{(0.858 \text{ mol})(0.082 \frac{\text{atm} * \text{L}}{\text{mol} * ^\circ \text{K}})(301.15^\circ \text{K})}{23 \text{ L}}$$

$$P = 0.999 \text{ atm}$$

Para calcular el volumen de biogás de cada uno de los biorreactores se aplica la siguiente fórmula:

Tratamiento 1 (21L de agua residual + biorreactor simple + 30 días)

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$V = \frac{(0.858 \text{ mol}) \left(0.082 \frac{\text{atm} * \text{L}}{\text{mol} * ^\circ\text{K}} \right) (298.15^\circ\text{K})}{0.99 \text{ atm}} = 21.18\text{L}$$

Tratamiento 2 (22L de agua residual+ biorreactor simple + 30 días)

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$V = \frac{(0.887 \text{ mol}) \left(0.082 \frac{\text{atm} * \text{L}}{\text{mol} * ^\circ\text{K}} \right) (302.15^\circ\text{K})}{0.998 \text{ atm}} = 22.02\text{L}$$

Tratamiento 3 (24L de agua residual + biorreactor simple + 30 días)

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$V = \frac{(0.9751 \text{ mol}) \left(0.082 \frac{\text{atm} * \text{L}}{\text{mol} * ^\circ\text{K}} \right) (300.15^\circ\text{K})}{0.999 \text{ atm}} = 24.02\text{L}$$

Tratamiento 4 (20L de agua residual + biorreactor compuesto + materia orgánica + 30 días)

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$V = \frac{(0.809 \text{ mol}) \left(0.082 \frac{\text{atm} * \text{L}}{\text{mol} * ^\circ\text{K}} \right) (301.15^\circ\text{K})}{0.998 \text{ atm}} = 20.01\text{L}$$

Tratamiento 5 (21L de agua residual + biorreactor compuesto + materia orgánica + 30 días)

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$V = \frac{(0.858 \text{ mol}) \left(0.082 \frac{\text{atm} * \text{L}}{\text{mol} * ^\circ\text{K}} \right) (298.15^\circ\text{K})}{0.998 \text{ atm}} = 21.08\text{L}$$

Tratamiento 6 (23L de agua residual + biorreactor compuesto + materia orgánica + 30 días)

$$V = \frac{nRT}{P}$$

$$V = \frac{(0.931 \text{ mol}) \left(0.082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot ^\circ\text{K}} \right) (301.15^\circ\text{K})}{0.999 \text{ atm}} = 23.01 \text{ L}$$

4.3 Caracterización de la composición físico – química de los lixiviados mediante análisis de laboratorio (DBO, DQO, Nitrógeno Total, Fosforo, Sólidos Totales Y Sólidos Suspendidos Totales).

Para los pertinentes análisis del agua residual de la industria porcina fue necesario realizar análisis al inicio del tratamiento experimental, de acuerdo a las técnicas especificadas con el propósito de describir los resultados de cada parámetro del agua residual.

Resultados iniciales de los parámetros fisicoquímicos de la muestra de agua residual porcina:

En la tabla 18 se especifica la caracterización de DBO, DQO, Nitrógeno Total, Fosforo, Sólidos totales, Sólidos suspendidos totales, referente a la semana uno los resultados se encuentran fuera del límite permisible establecidos por el Anexo 097 – Libro VI.

Tabla 18. Análisis químico del agua residual proveniente de la industria porcina - semana 1.

Parámetros	Resultado (mg/L)
DBO	2180mg/L
DQO	4100mg/L
Nitrógeno Total	425.3 mg/L
Fosforo	412 mg/L
Sólidos totales	147.22 mg/L
Sólidos suspendidos totales	132.20mg/L

Autor, 2021

En la tabla 19 se especifica la caracterización de DBO, DQO, Nitrógeno Total, Fosforo, Sólidos totales, Sólidos suspendidos totales, referente a la semana dos los resultados se encuentran fuera del límite permisible establecidos por el Anexo 097 – Libro VI.

Tabla 19. Análisis químico del agua residual proveniente de la industria porcina - semana 2.

Parámetros	Resultado (mg/L)
DBO	2520mg/L
DQO	4500mg/L
Nitrógeno Total	385.4 mg/L
Fosforo	486.14 mg/L
Sólidos totales	174.42 mg/L
Sólidos suspendidos totales	185.40mg/L

Autor, 2021

En la tabla 20 se especifica la caracterización de DBO, DQO, Nitrógeno Total, Fosforo, Sólidos totales, Sólidos suspendidos totales, referente a la semana tres los resultados se encuentran fuera del límite permisible establecidos por el Anexo 097 – Libro VI.

Tabla 20. Análisis químico del agua residual proveniente de la industria porcina - semana 3.

Parámetros	Resultado (mg/L)
DBO	1987mg/L
DQO	3900mg/L
Nitrógeno Total	410.8 mg/L
Fosforo	511 mg/L
Sólidos totales	137.73 mg/L
Sólidos suspendidos totales	147.01mg/L

Autor, 2021

En la tabla 21 se especifica la caracterización de DBO, DQO, Nitrógeno Total, Fosforo, Sólidos totales, Sólidos suspendidos totales, referente a la semana cuatro los resultados se encuentran fuera del límite permisible establecidos por el Anexo 097 – Libro VI.

Tabla 21. Análisis químico del agua residual proveniente de la industria porcina - semana 4.

Parámetros	Resultado (mg/L)
DBO	2340mg/L
DQO	4200mg/L
Nitrógeno Total	420.9 mg/L
Fosforo	518 mg/L
Sólidos totales	150.18 mg/L
Sólidos suspendidos totales	139.04mg/L

Autor, 2021

En base al análisis con respecto a la normativa legal del Ecuador referente al Anexo 097- A Libro VI con respecto al límite de descarga. La tabla N°22 especifica el resultado obtenido a través del análisis de laboratorio como promedio, en lo que

respecta a los 6 parámetros evaluados se describe que el DBO, DQO, Nitrógeno total y Fosforo superan el límite permisible de descarga al día/litro. Mientras tanto, los sólidos totales y sólidos suspendidos totales se encuentran en un rango alto al permitido.

Tabla 22. Análisis químico promedio del agua residual proveniente de la industria porcina.

Parámetros	Resultado (mg/L)
DBO	2145mg/L
DQO	4.600mg/L
Nitrógeno Total	450.8 mg/L
Fosforo	534 mg/L
Sólidos totales	157.73 mg/L
Sólidos suspendidos totales	142.61mg/L

Autor, 2021

4.4 Implementación de dos tipos de reactores para el aprovechamiento de lixiviados de la planta porcina.

Para construir los biorreactores se cumple el siguiente procedimiento, el cual es viable con respecto al ámbito socioeconómico.

Referente a la figura 5, ingresan los efluentes emitidos por la granja porcina, estos cumplen con el proceso de fermentado, debido a que se encuentran herméticos en el recipiente, se cumple con el tratamiento anaeróbico debido a las altas cantidades de sólidos presentes en el recipiente sellado, se efectúa el monitoreo de parámetros (Temperatura °C -pH), cumpliendo con los rangos establecidos de presión en cada uno de los recipientes al día 30 se verifica con la prueba piloto, obteniendo resultados efectivos por la generación del biogás. El biorreactor el cual consistió en la siguiente jerarquización: ingreso del agua residual

porcina (cantidad definida) individualizada para cada uno de los recipientes, materia orgánica y excreta porcina, monitoreo semanal referente a los parámetros de temperatura y pH durante 30 días. Posterior a la experimentación se comprueba la eficiencia en cada uno de los tratamientos planteados, como resultado final se obtiene la generación de biogás.

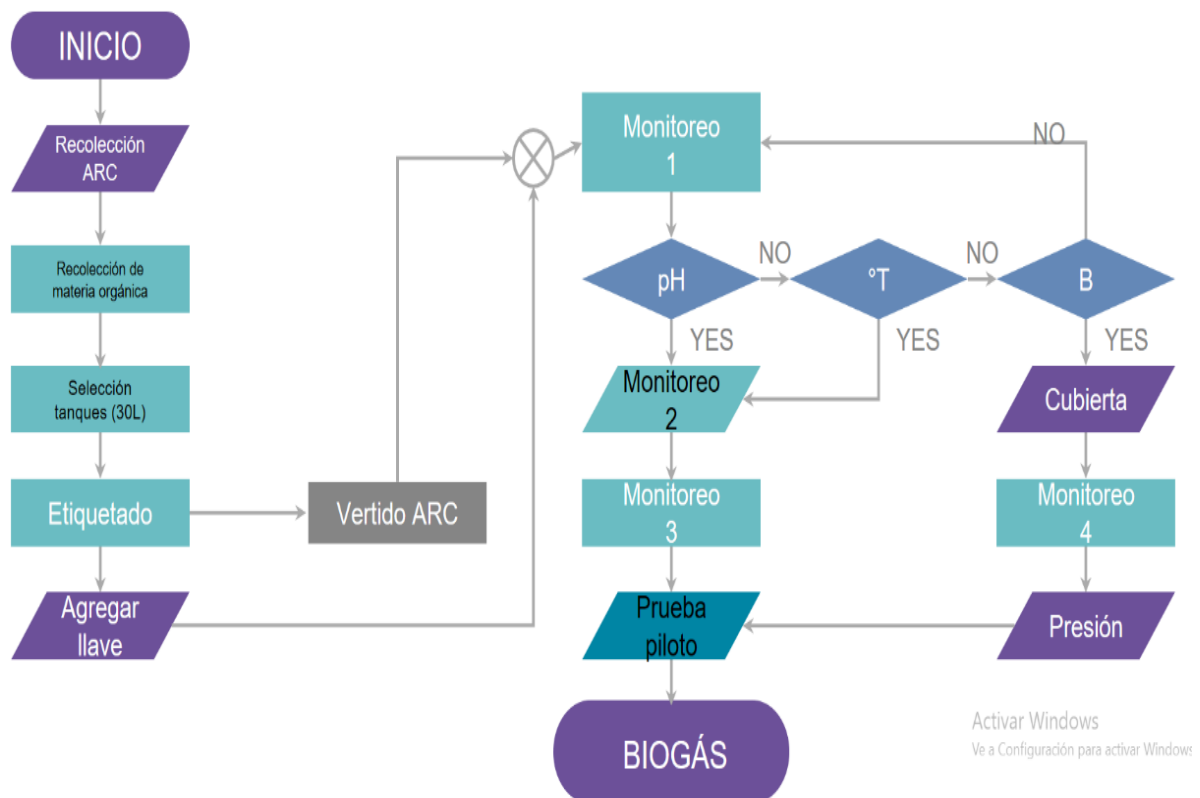


Figura 3. Implementación del biorreactor.
Fuente: Autor, 2021

4.5 Realización de una propuesta en base al mejor biorreactor para aprovechamiento de biogás en la planta porcina.

Considerando las deducciones sistemáticas y económicas para la evaluación del potencial de producción de biogás, es permisible un beneficio económico en cada recipiente de estudio por ahorro de combustible para la ebullición de alimentos y un impacto ambiental positivo.

A partir del aumento de biogás compuesto en cada biorreactor, es posible el manejo de hornillas para la ebullición de alimentos en un tiempo de 8 y 11 horas por día. Por ello es necesaria la instalación de cocinas de 2 hornillas domésticas y 4 hornillas domésticas, según la capacidad de generación de biogás al día, estimado en un periodo de 30 días.

El manejo de este procedimiento simboliza efectividad económica favorable pues su PRI (Período de recuperación de la inversión) no excede los 3 años y tiempo de aprovechamiento de la instalación es de 30 años.

Con respecto a la resolución del mejor tratamiento se descifra que el tratamiento número 3 compuesto por 24L de agua residual + biorreactor simple + 30 días, cumplió con la descomposición anaeróbica correcta, condiciones de pH y Temperatura adecuada y por ende la respectiva presión ejercida para la producción de biogás en un intervalo de 24.02L.

5. Discusiones

Según Herrera (2008), la remoción de los parámetros totales como DBO, DQO y sólidos asimilan el proceso de eficiencia hídrica dependiendo del tipo de tratamiento aplicado. En la actualidad las plantas de tratamiento de agua residual tienen como propósito depurar las aguas residuales para luego ser aceptadas para el consumo de la población. La mediación del caudal depende del dimensionamiento a tratar, en el cual se aplican ecuaciones relacionadas con el área, carga volumétrica, caudal y profundidad.

Según Pérez (2012), la eficiencia de depuración de las plantas de tratamiento de agua residual diseñadas permite remover hasta el 70% de turbidez, 87% de sólidos sedimentables, 88% de sólidos suspendidos, 97% de aceites y grasas, 80% de DQO y 80% de DBO. El volumen del caudal oscila de 100 a 200L diarios, considerando un caudal de 33.91L/s.

Referente a la experimentación y monitoreo en la granja porcina se efectuaron los siguientes datos: el volumen del caudal de 500L por semana en un tiempo de 5 minutos y con una proporción de 133 especies porcinas. Al final se obtuvo la medición del caudal siendo de 1.67L/s.

Según Sosa (2014), el estiércol porcino a pesar de ser un residuo, se constituye en una fuente interesante de minerales como constituyente de un bioabono que después de ser tratado, se obtendrán minerales mineralizables disponibles para el suelo, disminuyendo el impacto que puede tener y a la vez evitando la formación de amonio y amoniaco.

Según Cervantes (2014), el manejo de digestores anaerobios de líquidos y sólidos con altos tiempos de conservación hidráulica ($TRH \geq 62$ d), mejoró preclaramente el tratamiento de efluentes de estancias porcinas, alcanzando las

siguientes eficiencias de remoción: SST $\geq$ 92.5 %; DQO $\geq$ 97 %; DBO5 $\geq$ 96 %; P-T $\geq$ 66 % y 2 unidades logarítmicas de CF.

De acuerdo al monitoreo realizado a los seis tratamientos en los cuales se encuentran implantados los biorreactores, se comprobó que en el pretratamiento se logró comprobar la eficiencia del proceso de digestión anaerobia y con eficacia en el tratamiento número 3. El agua residual porcina logró inocular la remoción de la materia orgánica y máxima producción de metano.

Según Streit (2017), el diseño se basa en un reactor discontinuo de tanque agitado que permite producir 1,6 g/l por repetición semanal del trabajo teniendo en cuenta que el tiempo de cada ciclo es de 24 horas y se trabajan 4 días a la semana. Los datos se extraen del experimento planteado en el 2009 de Trutnau y sus participantes concluyen que se obtiene una concentración de aproximadamente 0,5 g/l por cada 24 horas.

Según Herrera (2008), se puede determinar la estabilidad experimental con respecto al parámetro temperatura la cual oscila los 25°C en un tiempo determinado de 19 a 25 días de fermentación del estiércol generado por el sector agropecuario, este es reutilizado para la producción de biodigestores, permitiendo la producción de biogás exclusivo para el consumo de la población.

Referente a la experimentación realizada con los biorreactores, establecidos en la superficie terrestre y otros sumergidos a 90cm de altura. Estos dependerán de la velocidad de reacción de acuerdo al proceso biológico empleado para la descomposición y producción de biogás. De la solubilidad de los gases generados dependerá el cambio de temperatura en cada uno de los recipientes experimentados. El alto incremento de temperatura mayor será la producción de

gas. En cuanto al rango de la temperatura experimentada en los seis tratamientos oscila entre los 25 – 29°C.

Según Warren (2015), la mezcla en el reactor se encuentra a 30°C, esta temperatura se consigue con un intercambiador de dos tubos concéntrico donde entra un aire calentado previamente. Conjuntamente, la mezcla debe estar alrededor de un pH= 4,7 y una aireación de 1vvm que se consigue a través de un anillo perforado que se alimenta con un caudal de 10,42 m³/s. El reactor esta dimensionado para un volumen real de 800 L que se corresponde con un volumen de sustrato de 625L. Con los cálculos perpetrados en el ideal se obtiene un diámetro del tanque de 90 cm y una altura de 140 cm.

Para que el pH este en una categoría óptima se tiene que restringir la carga volumétrica hasta que los ácidos grasos volátiles se terminen más rápido de lo que se forman. Cuando la exuberancia de AGV se ha degradado, el pH del sistema regresa a las jerarquías de manipulación corrientes y la metalogénesis comienza a reverdecer (Francois, 2014).

En cuanto al análisis de pH durante los 30 días consecutivos se obtuvo resultados dentro del rango establecido, inició en 6.0 y se estableció un pH neutro de 7.0. Impartiendo las teorías químicas, mantener el rango remitente, permite el control de la digestión metanogénica.

Según Martínez (2010), la producción de biogás es un beneficio económico y ambiental, ya que se reduce el uso de combustibles fósiles, emanación de gases y eliminación de desechos, que la mayor atracción de gases se obtiene en la laguna anaerobia debido a la alta descomposición de materia y abandono de oxígeno, su estudio fija la producción de 389.0 Mwh/año, por otro lado SolCalGas indica que las plantas de tratamiento de aguas residuales son una de las mayores fuentes

para obtención de biogás, el potencial del biogás se puede ver elevado al convertirlo en bioetanol, lo que incrementa su valor al mercado.

Según Contreras (2016) la exploración de la distribución de las fuentes permisibles para la elaboración de biogás procedente del sector ganadero, rellenos sanitarios y plantas de tratamiento es compleja y está relacionada con otros elementos (sociales, desarrollo científico, disponibilidad de la tecnología, etc.). Decir que estos resultados son concretos es inverosímil. Sin embargo, son un panorama preliminar que permite visualizar los nichos de oportunidad para la producción de biogás. Los desechos sólidos (altos en contenido de materia orgánica) no deberían ser considerados como un problema, sino como una oportunidad para la generación de una fuente renovable de energía y una medida práctica para la moderación de gases de efecto invernadero.

Las reutilizaciones de las aguas residuales porcinas generaron un impacto positivo en la producción de biogas, el cual tiene la finalidad de ser utilizado por parte de la población vulnerable. De acuerdo a los resultados obtenidos a través del monitoreo se describe que la producción de biogas oscila entre un 25 y 86%, el cual es generado por 24L de agua residual porcina.

6. Conclusiones

Referente al monitoreo levantado en la industria porcina se determinó en el transcurso de 7 días la medición del caudal, resultando 1.67l/s. Para medir el flujo volumétrico se tomó en cuenta el tiempo de medición (5 minutos) y la cantidad de ganado porcino.

Para la caracterización de las aguas residuales porcinas la medición de (DBO, DQO, Nitrógeno Total, Fósforo, Sólidos Totales Y Sólidos Suspendidos Totales), a través de análisis realizados en laboratorios externos e internos de la Universidad Agraria del Ecuador se estipula un alto nivel de contaminación por parte de los parámetros estipulados, superando en un 70% del límite permisible.

Con respecto al monitoreo constante del pH y Temperatura representada en grados centígrados los recipientes al inicio reflejaron un pH entre 6.0 y 7.0 y una temperatura de 25 – 29°C. Y como resultado final lograron equilibrar un pH de 7.0 considerando neutro y la temperatura adecuada de 26°C, siendo estos valores factibles para la producción del biogás. Referente a los biodigestores implementados (simples y compuestos) es eficiente la utilización con aguas residuales porcinas, obteniendo la generación de biogás de alta calidad.

Como resultado final se estipula el mejor tratamiento, en referencia al biorreactor simple el tratamiento número 3 compuesto por 24L de agua residual porcina el cual ejerció la presión adecuada para la obtención del 25% de biogás. En cuanto al biorreactor compuesto, correspondiendo al tratamiento 5 combinado con 42L de agua residual + biorreactor + materia orgánica + 30 días se ejerció la presión respectiva produciendo en un 86% de biogás.

Se finalizó la experimentación en base a los 6 tratamientos expuestos al diseño simple y compuesto obteniendo como resultado final la generación de biogás

mediante la reutilización de aguas residuales provenientes de la industria porcina. En efecto el volumen y calidad del gas generado queda como modelo de energía alternativa amigable con el ambiente en el ámbito socioeconómico.

7. Recomendaciones

La utilización de biodigestores ofrece grandes ventajas para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de granjas porcinas, además de disminuir la carga contaminante de los mismos, extrae gran parte de la energía contenida en el material mejorando el valor fertilizante y malos olores.

En el transcurso de la investigación, de acuerdo a varios estudios ámbito ganado porcino se recomienda realizar la construcción de un biodigestor fijo con el fin de reutilizar los desechos en un producto factible e indispensable para el sector agropecuario.

Es importante conocer la característica de los productos de la mezcla incorporada, pues a medida que se adhieren, pueden repercutir en un aumento o disminución del tiempo de fermentación. Se exhorta a su vez delimitar muy bien el tipo de excremento que se fuese a utilizar, pues existen heces como el de porcino que tiene mayor contenido de Nitrógeno, lo cual aumenta la implicación de éste componente en el compuesto obtenido. Se recomienda la utilización del tratamiento 3 biodigestor simple debido a que se obtuvo el mayor volumen de biogás, nivel de presión adecuada y 6000cm³ de espacio disponible para el biogás.

En lo que respecta a la producción de biogás es necesario revisar el desecho procesado y reutilizado como abono foliar, debido a su alta concentración de organismos patógenos; exponiendo a ciertos cultivos a altos niveles de toxicidad. La concentración de residuos fecales, mantienen latentes partículas DBO y coliformes, lo cual, al colocar en las plantas, se estaría contaminando el cultivo.

Por otra parte, se debe precautelar el uso a nivel doméstico, pues se trata de un producto altamente inflamable por su elevado contenido de metano; lo cual debe contar con llaves de apertura y cierra adecuadas al igual que los accesorios y

mangueras, de tal manera se evite la presencia de fugas; consecuentemente prescindir de explosiones y/o incendios.

Es aconsejable que el sector ganadero pueda replicar este proyecto con el fin de que las poblaciones campesinas de los alrededores de la comunidad incorporen los biodigestores, para el correcto manejo y una buena disposición final del excremento de ganado porcino evitando así molestias y malos olores a más de la contaminación ambiental que estos producen. Por lo tanto, el factor económico para implementar los biodigestores es viable en comparación al gas común. Para construir un biodigestor sencillo la demanda de inversión es de 31.10 dólares y con respecto al gas común este anualmente demanda un gasto de 86 dólares.

8. Bibliografía

- Aguilar, L. (2018). Recuperación de metano y reducción de emisiones en PTAR Nuevo Laredo. *Tecnología y Ciencias del Agua.*, 9(2), 87-112.
- Aguilera, S. (2018). Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia , a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos. *Revista científica de FAREM-Estelí*, 12(10), 60-125.
- Andriani, D. (2015). A review of recycling of human excreta to energy through biogas generation. *Energy Procedia*, 91(23), 225-245.
- Arce, J. (2014). Diseño de un biodigestor para generar biogas y abono a partir de desechos organicos de animales aplicable en las zonas agricolas del litoral. *Indonesia Case*, 1(10), 201-257.
- Báez, N. (2017). *Digestion anaerobia una aproximación a la tecnología*. Bogotá: Espitia.
- Briseño, L. (2017). Producción de biogás a través de la codigestión de residuos sólidos y semi-sólidos: hacia una planta centralizada de biogás para la generación de energía. *Santiago de Querétaro.*, 17(11), 201-215.
- Campos, A. (2014). *Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo y campesino*. Universidad Nacional de Colombia . Colombia: Ciencias y Tecnologías Agropecuarias.
- Cárdenas, E., & Duche, K. (2021). *Evaluación de la capacidad energética de los desechos orgánicos mediante la construcción de un biodigestor piloto, cantón La Troncal*. Tesis de grado, Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil-Ecuador.

- Castro, D. (2014). *Sostenibilidad energética de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales*. Universidad de Murcia. Murcia, España: Biología.
- Cervantes, F. (2014). Estrategias para el aprovechamiento de desechos porcinos en la agricultura. *Latinoamericana de recursos naturales.*, 14(17), 27-44.
- Contreras, L. (2016). *Producción de biogás con fines energéticos*. Universidad Nacional Autónoma de México. México: Tecnoambiente.
- Cruz, M. (2016). Eficiencia del Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente (UASB) a escala piloto en el Tratamiento de las Aguas Residuales Domésticas provenientes de la comunidad de Carapongo - Luriganchu , Chosica. *Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 12(22), 27-40.
- Díaz, A. (2014). *Diseño, construcción y puesta en marcha de un biodigestor anaerobio con residuos orgánicos generados en el mercado de Tiquipaya*. Universidad Pompeu Fabra. Barcelona: Escola de Camins.
- Francois, S. (2014). *Generación y uso del Biogás*. Universidad Autónoma de México. México: Alternativa de eficiencia energética.
- Gandarillas, V. (2015). Experiencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante reactores Uasb En Cochabamba-Bolivia comparadas con las de Latinoamérica,. *Investigacion & Desarrollo*, 28(85), 85-120.
- García, M. (2010). *Estudio del proceso bioquímico de fermentación en digestores para la producción de biogás y biofertilizante a partir de residuos orgánicos provenientes del campus de la Universidad de El Salvador*. Universidad Don Bosco. El Salvador: Departamento de Ingeniería Química.
- González, F. (2016). *Determinación del potencial energético de los Residuos Sólidos Urbanos en tres municipios de la provincia de Luanda, Angola*.

Universidad de La Habana. Santiago de Cuba: Departamento de Ingeniería Química.

Hach Company. (junio de 2017). LCK 338 Hach. Barcelona .

Herrera, F. (2008). *Evaluación de la producción de biogás con aguas residuales porcinas*. Universida Técnica de Machala , Biotecnología. El Oro, Ecuador: Campoverde.

Hurtado, A. (2014). *Celdas de combustible microbianas (CCMs): Un reto para la remoción de materia orgánica y la generación de energía eléctrica*. Universidad del Valle . Colombia: Informacion Tecnologica.

Konaté, Y. (2016). Biogas production from an anaerobic pond treating domestic wastewater in Burkina Faso. *Desalination and Water Treatment*, 22(18), 51-67.

Larios, L. (2016). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la USIL*, 21(25), 9-34.

Loose, D. (2017). Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento. *Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento*, 78(18), 28-45.

Lucas, S. (2016). Influence of temperature on the performance of anaerobic treatment systems of municipal wastewater. *Water SA*, 63(39), 81-90.

Mantilla, G. (2017). Energía limpia del agua sucia: Aprovechamiento de lodos residuales. *DYNA*, 14(16), 90-126.

Marcillas, F. (2016). *Bioestimulación de la digestión anaerobia*. Universidad Nacional Autónoma de México. México: Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila.

- Martínez, E. (2018). Tratamiento de agua residual doméstica mediante un reactor rafa y una celda microbiana de combustible. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 16(19), 201-256.
- Martínez, S. (2010). *Evaluación socioeconómica y ambiental de la producción de biogas con desechos de la industria porcina*. Unievrsidead de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador: Cervantes.
- Meseth, E. (2018). Estudio de una planta de tratamiento de aguas residuales de Irlanda y su impacto en el medioambiente. *Ingeniería Industrial*, 20(18), 98-112.
- Minerba, S. (2016). *Guía de planificación para proyectos de biogás en Chile*. Universidad de Chile. Chile: Ministerio de Energía y Cooperación Alemana al Desarrollo de Chile.
- Moharram, M. (2016). Anaerobic up flow fluidized bed reactor performance as a primary treatment unit in domestic wastewater treatment. *Housing and Building National Research Center.*, 25(36), 204-256.
- Montes, C. (2015). *Estudio técnico-económico de la digestión anaerobia conjunta de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y lodos de depuradora para la obtención de biogás*. Tesis de grado, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Morales, S. (2018). Producción de biohidrógeno en un reactor continuo UASB. *Revista Cubana de Química*, 16(13), 147-213.
- Morgan, H. (2014). *Algunas tecnologías importantes para el tratamiento de H₂S por vía fsicoquímica y microbiológica*. Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos. México: Noyola.

- Navarro, O. (2017). *Potencial técnico para la producción de biogás, generado a.* Tesis de grado, Universidad de Chile, Chile.
- Ortega, L. (2015). *Principales métodos para la desulfuración del biogás.* Universidad Nacional de Colombia . Colombia: Ingeniería Hidráulica y Ambiental.
- Peláez, L. (2017). Evaluación de la co-digestión anaerobia de lodos de aguas residuales municipales con residuos de alimentos. *ION*, 18(22), 29-34.
- Pérez, P. (2012). *Tratamiento de aguas residuales: proceso de sedimentación.* Tesis de grado, Universidad Central del Ecuador , Facultad de minas, Quito, Ecuador.
- Ramirez, E. (2018). Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento y aprovechamiento de biogás en plantas de tratamiento de aguas residuales. *Ciencia y Tecnología*, 5(16), 28-43.
- Rands, B. (2015). *Compost Filters for Removal from Anaerobic Digestion and Rendering Exhausts.* Universidad de Buenos Aires. Argentina: Water Pollution Control Federation.
- Revelo, D. (2017). Producción y evaluación de la calidad del biogas y biol en un biodigestor granja V.A. Velebit S.A.C. Ubicada en el distrito de lurigancho. *Informacion Tecnologica*, 36(20), 96-109.
- Salazar, J. (2015). Estudio de un sistema de energía renovable para la producción de biogás a partir de excretas de ganado porcino para disminuir el consumo de gas doméstico en la hacienda “el márquez” del sector de cunchibamba de la provincia Tungurahua. *Instituto para la diversificación y Ahorro de la Energía*, 18(1), 29-80.

- Sarabia, M. (2015). Producción de biogás mediante codigestión anaerobia de excretas de borrego y rumen adicionadas con lodos procedentes de una planta de aguas residuales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 14(7), 39-56.
- Sosa, A. (2014). *Caracterización del agua residual de una granja porcina en el municipio de Palmar de Bravo*. Universidad Autónoma de México. Sinaloa, México: Environ.
- Streit, F. (2017).) *Production of fungal chitosan in liquid cultivation using apple pomace as substrate*. Universidad Autónoma de México. México: Brazilian Journal of Microbiology.
- Tamayo, A. (2015). *Evaluación del potencial de producción de biogás a partir de residuos agroindustriales de la caña de azúcar*. Universidad Nacional de Colombia. Bogota: ICESI.
- Terreros, O. (2016). *Digestión anaerobia de lodo primario y secundario en dos reactores uasb en serie*. Universidad Autónoma de México . México: Mexicana de Ingeniera Qumic.
- Valdéz, A. (2014). *La producción porcina no especializada en la provincia cubana de Ciego de Ávila y su incidencia sobre los recursos naturales*. Universidad Autónoma de México . México: Revista Computadorizada de Producción Porcina.
- Warren, S. (2015). *Operaciones unitarias en Ingeniería química*. Universidad Nacional de México. México: McGraw-Hil.
- Yang, H. (2017). Psychrophilic anaerobic dynamic membrane bioreactor for domestic wastewater treatment: Effects of organic loading and sludge recycling. *Bioresource Technology*, 7(20), 214-245.

9. Anexos

UBICACIÓN DE ZONA DE ESTUDIO

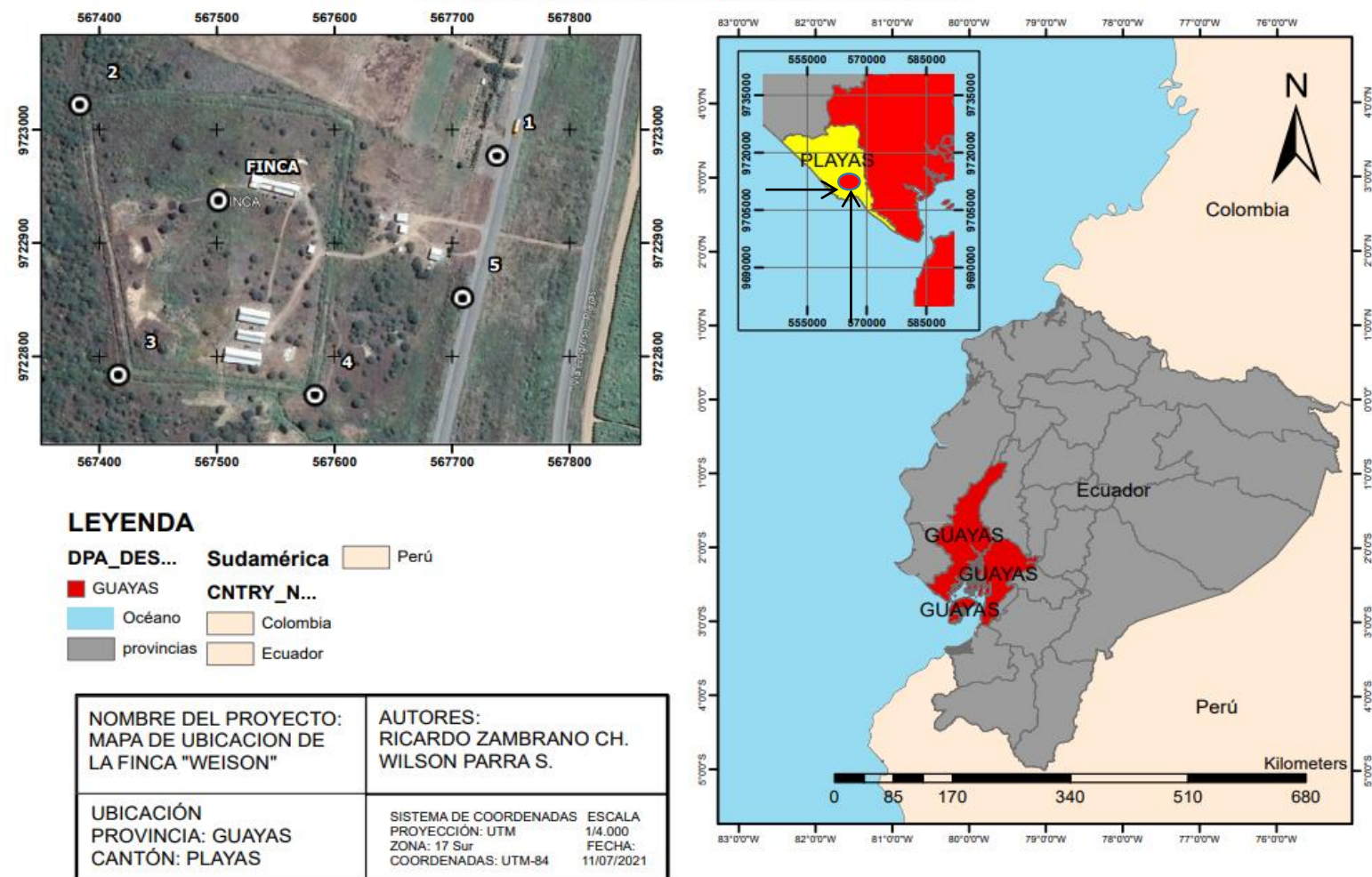


Figura. 1. Ubicación del lugar de estudio
ARCGIS, 2021

Monitoreo de caudal de limpieza				
Fecha	Hora de Inicio	Hora de Fin	Tiempo (min)	Volumen (l)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

Figura. 2. Hoja de recolección del volumen residual de limpieza
Autor, 2021

Monitoreo de excretas			
N° de días	N° de animales	Peso promedio (kg)	Volumen (l)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

Figura. 3. Hoja de recolección del volumen de excretas
Autor, 2021

Tabla 23. Referencia de pesos promedios de cerdos

Categoría de animales	Pesos promedios (kg)
Preceba	32
Ceba	50
Lechonas	38
Cochinatas	130
Reproductoras	90
Crías	23
Verracos	110

Alonso et al., (2014).

Identificación de muestra
Responsable:
Fecha:
Hora de recolección:
Número de muestra:
Volumen:
Tipo de muestra:

Figura. 4. Diseño de etiqueta para muestras de agua residual
Autor, 2021

Tabla 24. Límites máximos de descarga a la red pública

Parámetro	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	DBO5	mg/l	250
Demanda química de oxígeno (DQO)	DQO	mg/l	500
Fósforo total	P	mg/l	15

Nitrógeno total	N	mg/l	60
Potencial de hidrógeno	pH		6,90
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600,0
Sólidos suspendidos totales	SST	Mg	220,0
Temperatura	T	°C	< 40,0

Ministerio del Ambiente, (2015)

Tabla 25. Análisis económico de la construcción de los biodigestores.

Materiales	Unidades	Costo unidad	Costo total (\$)
		(\$)	
Recipientes	36	5.00	180.00
Llaves de gas	24	3.80	91.20
Adaptadores macho	18	0.50	9.00
PVC			
Adaptadores hembra	18	0.50	9.00
de 1/2 de PVC			
Pitones de aluminio	24	2.00	48.00
Rollos de teflón	2 rollos	1.00	2.00
Pegatanque	2 frascos	5.50	11.00
Manguera para gas	12m	3	36.00
abrazaderas de ½ pulgada	24	0.40	9.60
pitones metálicos de ½ pulgada	24	1.48	35.52

Metros de plástico negro	15m	0.75	20.00
TOTAL			451.32

Autor, 2021

Tabla 26. Valores de implementación unitario del biodigestor.

Material	Unidad	Costo (\$)
Recipiente	2	10.00
Llave	2	7.60
Adaptadores (macho / hembra)	4	2.00
Pitón	1	4.00
Teflón	1	2.00
pegatanque	1	5.50
TOTAL		31.10

Autor, 2021

Tabla 27. Valor económico del gas común en el lapso de un año.

Material	Unidad	Costo
Tanque	1	50.00
Recarga del producto	12	36.00
TOTAL		86.00

Autor, 2021

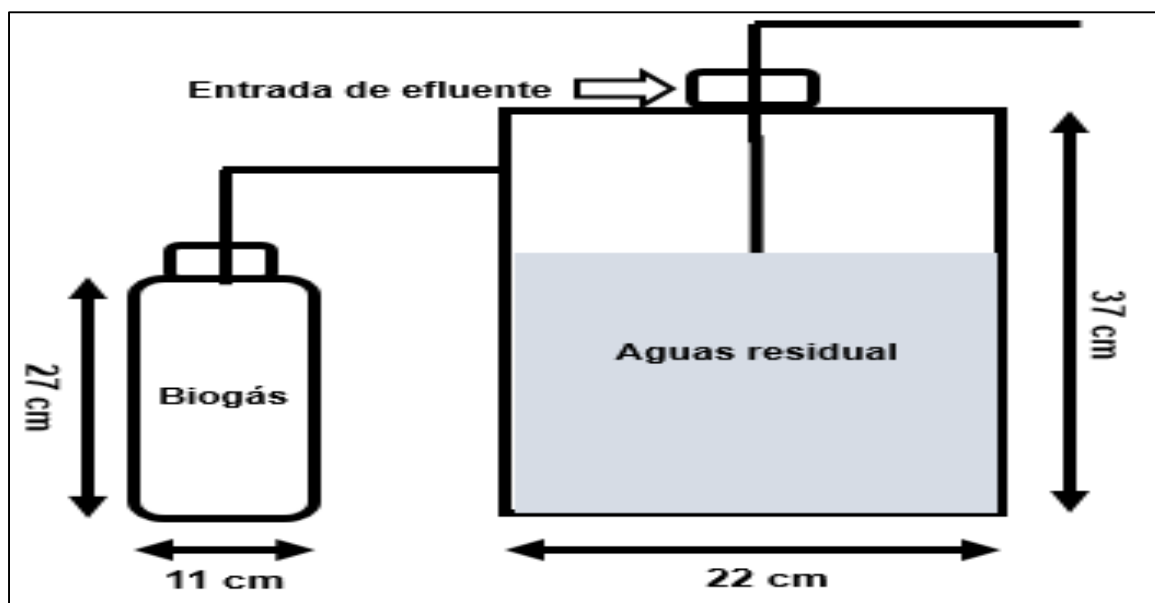


Figura. 5. Biorreactor de capacidad de 10 litros
Autor, 2021

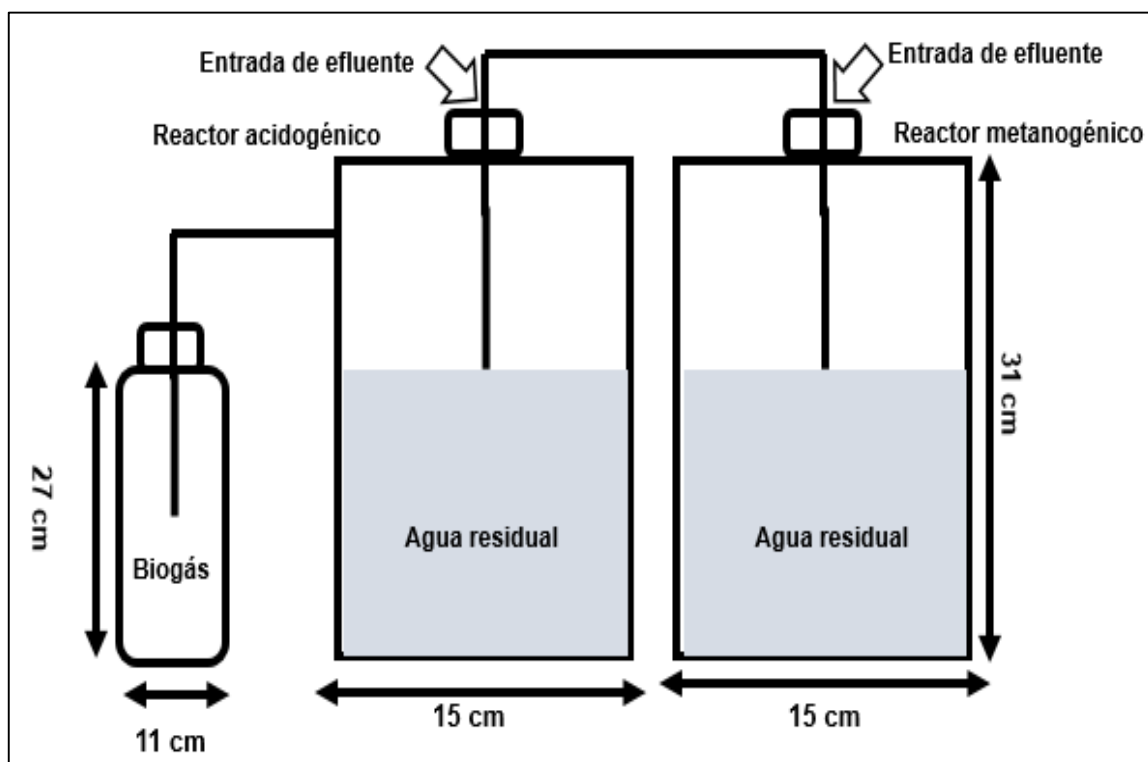


Figura. 6. Biorreactor de capacidad de 10 litro
Autor, 2021



Figura 4. Análisis de los parámetros físicos - químicos laboratorio de la Universidad Agraria del Ecuador.
Autor, 2021



Figura 5. Resultado final de la medición de sólidos totales.
Autor, 2021



Figura 6. Medición de la presión.
Autor, 2021