

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y
AMBIENTAL**



**BIOMETANIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DE
DESCARGAS RESIDUALES PORCINAS EN EL C.P.
AMBATO TAMBORAPA, DISTRITO DE BELLAVISTA,
2019**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL**

AUTORA:

Bach. ALBERCA RISCO, Neidy Eliana

ASESOR:

Dr. GARAY ROMÁN, Juan Manuel

JAÉN, NOVIEMBRE – 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-SUNEDU/CD

ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día 05 de 12 del año 2019; siendo las 17:00 horas, se reunieron los **Miembros del Jurado Evaluador**:

Presidente Mg. ANNICK ESTEFANY HUACCHA CASTILLO

Secretaria Mg. CANDY LISBETH OCAÑA ZÚÑIGA

Para evaluar la Sustentación del **INFORME FINAL DE TESIS**; titulado: **"BIOMETANIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DE DESCARGAS RESIDUALES PORCINAS EN EL C.P. AMBATO TAMBORAPA, DISTRITO DE BELLAVISTA, 2019"**, presentado por la **Bachiller ALBERCA RISCO NEIDY ELIANA** de la Carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, los **Miembros del Jurado Evaluador acuerdan**:

() Aprobar () Desaprobar () Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

Excelente	18, 19, 20	()
Muy bueno	16, 17	()
Bueno	14, 15	()
Regular	13	(<u>13</u>)
Desaprobado	12 o menos	()

Siendo las 18:10 horas del mismo día, los Miembros del Jurado Evaluador concluyen el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Mg. ANNICK ESTEFANY HUACCHA CASTILLO
Presidente Jurado Evaluador

Mg. CANDY LISBETH OCAÑA ZÚÑIGA
Secretaria Jurado Evaluador

ÍNDICE

RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
I. INTRODUCCIÓN	8
II. OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo general.....	15
2.2 Objetivos específicos	15
III. MATERIAL Y MÉTODOS	16
3.1.Materiales y métodos	16
3.1.1 Población, muestra y muestreo	16
3.1.2 Variables de estudio.....	19
3.2.Método, técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos.....	20
3.2.1 Metodología	20
IV. RESULTADOS	34
V. DISCUSIONES	42
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
DEDICATORIA	50
AGRADECIMIENTO	51
ANEXOS	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variables de estudio.....	19
Tabla 2. Valores de cada variable en el biodigestor.	27
Tabla 3. Distribución de valores de variables según Box - Behnken.	27
Tabla 4. Valores máximo y mínimo de variables según Box - Behnken.....	28
Tabla 5. Concentración de valores de variables según Box - Behnken.....	29
Tabla 6. Concentración de valores de variables según Box-Behnken.	32
Tabla 7. Se muestra el pH de agua residual porcina cruda	34
Tabla 8. Se muestra el pH de agua residual porcina descompuesta.....	34
Tabla 9. Conductividad eléctrica del agua residual porcina cruda	35
Tabla 10. Conductividad eléctrica del agua residual porcina descompuesta.....	35
Tabla 11. Sólidos totales del agua residual porcina cruda	36
Tabla 12. Sólidos suspendidos del agua residual porcina cruda.....	36
Tabla 13. Sólidos totales del agua residual porcina descompuesta	36
Tabla 14. Sólidos suspendidos del agua residual porcina descompuesta.	37
Tabla 15. Análisis químico del agua residual porcina fresca.....	37
Tabla 16. Análisis químico del biol.	38
Tabla 17. Análisis químico del biosol.	38
Tabla 18. Análisis químico del biogás.....	39
Tabla 19. Valores óptimos para la biometanización.....	40
Tabla 20. Efectos estimados para Biogás (ml.).....	53
Tabla 21. Análisis de varianza para biogás.....	54
Tabla 22. Coeficiente de regresión para Biogás	55
Tabla 23. Matriz de Correlación para los Efectos Estimados.....	56
Tabla 24. Resultados Estimados para Biogás	57
Tabla 25. Camino de Máximo Ascenso para Biogás	58
Tabla 26. Valores Optimos para la Biometanización	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Granja de cerdos para el proyecto de investigación	16
Figura 2. Ubicación del área de trabajo en la granja de cerdos.	17
Figura 3. Cálculo del área del predio rural	18
Figura 4. Recolección de las aguas residuales porcinas	20
Figura 5. Botellas utilizadas como piloto a pequeña escala.....	21
Figura 6. Evaluación del pH y sólidos suspendidos del agua residual porcina.	21
Figura 7. Tara y secado de crisoles.....	23
Figura 8. Acondicionamiento de mangueras a biodigestores.	25
Figura 9. Insumos: Agua residual porcina, estiércol (ganado) y pulpa de café.....	25
Figura 10. Instalación de los 13 biodigestores.....	26
Figura 11. Piloto de biodigestores para agua residual porcina	26
Figura 12. Comparación del color entre el primer y último día.	30
Figura 13. Inicio de la desinstalación del piloto de biodigestores.	30
Figura 14. Marcado de la línea de agua desalojada en botellas de 1 litro: Biogás.	31
Figura 15. Medida del volumen de biogás formado.	31
Figura 16. Acopio del biol formado por descomposición.	33
Figura 17. Aplicación y uso del biol formado.	33
Figura 18. Piloto instalado de biodigestores para agua residual porcina.....	39
Figura 19. Diagrama de Pareto estandarizada para biogás	40
Figura 20. Diagrama de Pareto estandarizada para biogás	41
Figura 21. Diagrama estandarizado de biogás	59
Figura 22. Efecto principal de biogás	59
Figura 23. Gráfica de interacción para biogás	60
Figura 24. Gráfica de probabilidad normal para biogás	60
Figura 25. Gráfica de respuesta estimada	60
Figura 26. Contornos de la superficie de respuesta estimada.	61
Figura 27. Análisis de laboratorio.....	62
Figura 28. Análisis de laboratorio.....	63

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en una granja de cerdos del C.P. Ambato Tamborapa, teniendo como objetivo el tratamiento de las aguas residuales porcinas mediante biometanización. Se instaló un piloto experimental de 12 biodigestores y un 13^{avo} como testigo, se utilizaron botellas plásticas de 7 litros, los cuales contenían agua residual porcina (1 000 ml y 5 000 ml), estiércol de ganado (500 y 1 500 gr) y pulpa de café (25 y 100 gr). El agua residual porcina inicialmente tuvo un pH que fluctuó entre 6.55 y 6.95 y al final del proceso el pH fue 7.20 y 7.80; la conductividad eléctrica inicialmente osciló 3.15 y 4.05 dS/m y al final del proceso fue 2.65 y 2.99 dS/m. Se obtuvo una remoción del 47.68 % de SST y 59.99 % de SS, durante el proceso de fermentación anaeróbica se produjo entre 205 cm³ y 415 cm³ de biogás. El biol analizado concentró 4.4 % de N, 3.2 % P y 2.4 % K. El biosol analizado presentó 2.7 % N, 1.9 % P y 1.6 % de K y el biogás formado presentó 59 % de metano (sustancia inflamable), 40 % de dióxido de carbono, 0.64 % de N, 0.08 % de ácido sulfúrico (responsable del olor fétido), 0.12 % de hidrógeno (sustancia inflamable) y un 0.16 % de otros gases.

Palabras claves: Biometanización, anaeróbico, biogás y optimización.

ABSTRACT

The present investigation was developed in a pig farm of the C.P. Ambato Tamborapa, aiming at the treatment of swine wastewater through biomethanization. An experimental pilot of 12 biodigesters and a 13th pilot were installed as a control, 7 liter plastic bottles were used, which contained swine wastewater (1 000 ml and 5 000 ml), cattle manure (500 and 1 500 gr) and pulp of coffee (25 and 100 gr). The swine wastewater initially had a pH that fluctuated between 6.55 and 6.95 and at the end of the process the pH was 7.20 and 7.80; The electrical conductivity initially ranged 3.15 and 4.05 dS/m and at the end of the process it was 2.65 and 2.99 dS/m. A removal of 47.68 % of SST and 59.99 % of SS was obtained, during the anaerobic fermentation process there was between 205 cm³ and 415 cm³ of biogas. The analyzed biol concentrated 4.4 % of N, 3.2 % P and 2.4 % K. The analyzed biosol had 2.7 % N, 1.9 % P and 1.6 % of K and the biogas formed had 59 % of methane (flammable substance), 40 % of carbon dioxide, 0.64 % of N, 0.08 % of sulfuric acid (responsible for the foul odor), 0.12 % of hydrogen (flammable substance) and 0.16 % of other gases.

Keywords: Biomethanization, anaerobic, biogas and optimization.

I. INTRODUCCIÓN

La producción pecuaria es una de las actividades que ha generado más problemas ambientales a nivel mundial, contribuyendo al incremento de gases de efecto invernadero, asimismo en el Perú la emisión del efluente del agua residual porcina producto de la crianza de cerdos no está recibiendo un adecuado manejo, causando incremento de contaminación en cuerpos de agua, suelo y aire (Metcalf y Eddy 1995). Respecto a la contaminación de las aguas residuales domésticas porcinas, estas son sobre todo en el rubro de la materia orgánica disuelta que está compuesta de sustancias nitrogenadas (fuente principal de las proteínas) que acompañan el drenaje de las granjas de cerdos Escalante (2002).

El estiércol incrementa la DBO (Demanda bioquímica de oxígeno) (superiores a 1 000 ppm) y DQO (Demanda química de oxígeno) (superiores a 2 200 ppm), valores que ponen en riesgo el oxígeno disuelto del agua de las quebradas a donde van a discurrir los efluentes porcinos. El excesivo grado de turbidez de la materia orgánica evita el paso de la luz al agua dulce evitando la proliferación del fitoplancton en el agua, limitándose de ésta manera el alimento natural de los peces de agua dulce. Respecto a la contaminación de los sólidos totales en el drenaje porcino, estos se pueden encontrar en distintas formas, es decir pueden ser orgánicas o inorgánicas (minerales), también pueden ser sedimentables, diluidas o tender a permanecer en suspensión. Por lo general el 50 % corresponde a sólidos suspendidos y el otro 50 % a sólidos filtrables.

La emisión de las aguas residuales porcinas no está siendo adecuadamente aprovechadas en la actualidad, en efecto la deficiencia de su uso está generando contaminación y degradación de suelos por su efecto tóxico, asimismo genera olores desagradables. Generar biol permitirá aprovechar el potencial generado por la crianza de cerdos en el C.P. Ambato Tamborapa, distrito de Bellavista, 2019.

Toda esta contaminación hídrica se podría minimizar haciendo uso de biodigestores domésticos para el tratamiento de aguas residuales porcinas, mediante el proceso de biometanización puedan convertir todas las sustancias mencionadas anteriormente, en sustancias simples como metano y dióxido de carbono, emitidos al medio ambiente impactarían aguas naturales de las quebradas. La finalidad de la presente investigación tuvo por objetivo demostrar una alternativa tecnológica para los agropecuarios de esta parte del país. Esta propuesta consistió en la instalación de una serie de biodigestores, para lo cual se utilizó 12 botellas plásticas de 7 litros, más 1 botella que se utilizó como testigo o control y cada uno fue sellado e instalado con una manguera de venoclisis para la emisión de biogás garantizando la medida exacta del volumen de biogás formado durante el proceso de la anaerobiosis de las aguas residuales porcinas. Finalmente, concluido el proceso se tuvo una solución líquida y sólida enriquecida con nitrógeno, fósforo y potasio, siendo una fuente natural de abono para los cultivos propios de la zona.

Antecedentes

Soria et al. (2001), consideraron una alternativa viable la utilización de fuentes locales y regionales entre las que destacan las excretas líquidas de cerdo, con el objetivo de darle utilidad y transformarlas a biofertilizantes mediante un biodigestor, la cual constó de una caja de entrada, caja de salida y polietileno tubular calibre 800, diámetro de 1.25 m y 12 m de largo con una válvula de salida del biogás, éste se cargó con excreta líquida, la cual contenía 1 672 mg/L de sólidos sedimentables (S.Sed), 9×10^{11} UFC coliformes mg/L de muestra, pH de 7.6, conductividad eléctrica (CE) de 5.8 dSm⁻¹, demanda química de oxígeno 2 640.8 mg DQO/L y demanda bioquímica de oxígeno 543 mg DBO/L, teniendo como resultado la concentración del efluente fue de 210 mg/L de SSed, 0 coliformes, pH de 7, 4 dS/m de conductividad eléctrica, 1 399 mg DQO/L y 172 mg DBO /L, el rango óptimo del pH para lograr una mayor eficiencia en la biodigestión es entre 6.6 a 7.6. Este parámetro tuvo un valor inicial de 5.8 dS/m y se redujo en 29.65 % al terminar el proceso con 4.08 dS/m, lo cual indica que los microorganismos van consumiendo los compuestos solubles del sustrato, la DBO es un parámetro que mide el potencial contaminante de las aguas residuales, las bacterias aerobias consumieron 68.3 % del oxígeno que utilizaron para degradar la materia orgánica biodegradable, la DQO disminuyó en 47.03 %.

Ramon et al. (2016), diseñaron un biodigestor con 6 cilindros en serie de 55 galones de 0.6 m de diámetro cada cilindro, con altura promedio 0.9 m aproximadamente. Para el diseño del biodigestor fueron factores condicionantes la energía que se desea obtener y la biomasa disponible. Utilizando como biomasa estiércol de cerdo (porquinaza) para un sistema de carga en continuo. Para determinar la eficiencia del proceso en el biodigestor evaluaron resultados experimentales como son los sólidos, la demanda química de oxígeno (DQO) y el análisis de la actividad metanogénica (AM). Teniendo como resultados la reducción del 70.12 % en la DQO después de haber sido sometida al proceso de fermentación, teniendo como DQO inicial 7 900 mgO₂/l y final de 2 300 mgO₂/l, asimismo los sólidos en suspensión representan un 64 % respecto a los sólidos totales, lo cual indicó una alta eficiencia en el proceso de biodigestión, permitiendo obtener elevadas concentraciones de biogás, en la actividad metanogénica toda la materia orgánica se ha transformado biológicamente para obtener una producción de 82.7 ml/h de biogás, en la evaluación de pH tenía como pH inicial entre 6 y 7 y a la salida del biodigestor

presentando un rango óptimo de 6.6 a 7.0.

Matter et al. (2017), evaluaron diferentes aguas residuales en la co-digestión anaeróbica de los desechos residuales; se realizó una prueba discontinua en digestores horizontales de banco. Al final del proceso, se calculó la producción potencial de biogás y metano, así como la composición química (macro y micronutrientes) del efluente y las concentraciones de gas metano y dióxido de carbono a los 60 días. Los resultados mostraron que la mezcla entre los desechos frescos y las aguas residuales de cerdos (Tratamiento 4) y entre los desechos frescos de incubación, el agua del primer estanque anaeróbico de la planta de incubación y aguas residuales de cerdos (Tratamiento 5) representan fuentes significativas de energía renovable y para la producción de biogás (192.50 y 205.0 L de biogás por kg de sólidos volátiles (VS) añadidos a Tratamiento 4 y Tratamiento 5, respectivamente). La concentración promedio de metano en el biogás varió de 72 a 77 % entre los tratamientos. Para todos los tratamientos, se observaron reducciones en sólidos totales (TS) y sólidos volátiles (VS) y aumentos en el pH y la conductividad eléctrica (CE).

Garzón y Buelna (2014), presentaron una investigación sobre la variación en la composición de 14 efluentes de granjas porcinas en México; encontró que la contaminación se incrementa con el tamaño de la granja como sigue: granjas chicas hasta 2 500 puercos (la DQO varía entre 3 478 y 9 300 mg/L); granjas medianas con 2 500 a 7 999 puercos (la DQO varía entre 19 344 y 38 544 mg/L); granjas grandes con 8 000 o más puercos (la DQO varía entre 34 310 y 40 498 mg/L). Observó que para las granjas de tamaño medio la concentración de DQO aumenta como sigue: maternidad 3 500 mg DQO/L; aguas mezcladas entre 19 365 y 25 205 mg DQO/L; destete 37 498 mg DQO/L y engorda entre 19 334 y 38 544 mg DQO/L. Con respecto a los sistemas de tratamiento actualmente aplicados, se determinó que el sistema que presenta la mejor eficiencia fue el digestor anaerobio de líquido y sólidos operado con un tiempo de retención hidráulico (TRH) \leq 60 días, con el cual, los efluentes de engorda de dos granjas grandes, se obtuvieron las siguientes eficiencias de remoción: SST \geq 92.5 %; DQO \geq 97 %; DBO₅ \geq 96 %.

Arias (2006), investigó la eficiencia del manejo de las aguas residuales en la unidad de cerdos de Zamorano, usando el separador de sólidos y laguna de estabilización. Hizo muestreos mensuales y semanales (dos repeticiones) en la entrada y salida de la laguna. Se muestreó mensualmente la DBO₅, sólidos suspendidos y coliformes fecales y se analizaron en el laboratorio de la Universidad Tecnológica Centroamericana. Para cuantificar la producción de excretas se hizo limpieza en seco en cada uno de los galpones y el gasto de agua de lavado se calculó haciendo aforos y mediciones de tiempo. La laguna facultativa removió el 76 % de la DBO₅, 65 % de los sólidos suspendidos y 99 % de los coliformes fecales. Se encontró diferencia significativa entre la entrada y salida de la laguna para pH, nitrógeno, fósforo y potasio. La granja tuvo un gasto en agua para lavado de 11.82 m³/día y produce 535 kg/día por excreta.

Cepero et al. (2012), participaron en la investigación e innovación tecnológica que se desarrolló en el marco del proyecto “La biomasa como fuente renovable de energía para el medio rural” (BIOMAS-CUBA) está relacionado con la producción de biogás y bioabonos a partir de los efluentes de biodigestores en fincas agroenergéticas, donde se producen alimentos y energía, de forma integrada. Trabajaron sobre 69 biodigestores ocupando una capacidad total de digestión de 1 665 m³ y generaron producciones de 600 060 m³ de biogás, que se utilizaron en la cocción de alimento humano y animal, la generación de electricidad y la cocción de ladrillos; así como 2 601 TM de bioabonos, empleados en la mejora de la fertilidad de 1 830 ha de suelos; además permiten eliminar la contaminación provocada por excretas vacunas y porcinas en los escenarios productivos, lo cual genera un impacto ambiental positivo.

Se instalaron 52 plantas de producción de bioproductos a partir de efluentes de biodigestores, enriquecidos con microorganismos nativos, los cuales se utilizan en la sanidad animal y vegetal, la nutrición de cultivos, la eliminación de malos olores en instalaciones pecuarias, la biorremediación de lagunas contaminadas con residuales orgánicos y en los filtros de biocerámicas.

Escalante (2002), evaluó procesos biológicos y muy poco los químicos. Entre los procesos biológicos más comúnmente utilizados se encuentran los digestores anaerobios y las lagunas de estabilización, estas últimas principalmente por ser de bajo costo. Tuvo como objetivo presentar el diseño de un sistema de tratamiento para una granja porcícola

ubicada en el Estado de Campeche – México (19°55'14'' de latitud norte y 90°24'35'' de longitud). Se realizó la caracterización de la descarga. Se plantearon diferentes alternativas de tratamiento con y sin digestor anaerobio previo al sistema lagunar; varios esquemas de sistemas lagunares. Del análisis de alternativas para el caso de estudio, se llegó a la conclusión de que el mejor tren de tratamiento que ofrece una remoción superior al 95 % de materia orgánica y una concentración en el efluente menor a 1 000 coliformes fecales, es el conformado por un pretratamiento (separación física de sólidos), un digestor anaerobio, dos lagunas anaerobias, una laguna facultativa y tres lagunas de maduración.

Blanco (2015), evaluó la eficiencia de dos lagunas tapadas, diseñadas para tratar los residuales de las granjas porcinas P-3 y T-2.1 pertenecientes a la Asociación de Porcicultores de Yucatán, México, con el objetivo de verificar la factibilidad de implementar en Cuba esta tecnología. Los indicadores físico-químicos y microbiológicos de los efluentes fueron determinados en el momento de su entrada y su salida de los digestores, y a su salida del lago de estabilización. El digestor de la granja P-3 logró remover más del 90 % de la demanda química de oxígeno (DQO) y hasta el 71 % de los sólidos suspendidos totales (SST) presentes; mientras que el digestor de la granja T-2.1 alcanzó una remoción del 78 % en la DQO y el 62 % de los SST.

Los análisis sanitarios indicaron que las bacterias coliformes totales presentaron una disminución importante, de 2.4×10^8 a 1.7×10^3 en la granja P-3 y de 4.2×10^7 a 2.7×10^3 en la granja T-2.1. En ambas lagunas, los huevos de helmintos mostraron una reducción del 100 %. Se concluye que las lagunas tapadas tuvieron un adecuado desempeño en el tratamiento de los residuales porcinos, y que esta tecnología es factible de ser empleada en Cuba.

Aniekan et al. (2019), realizaron un estudio para determinar la energía derivada (biogás) de diferentes sustratos de desperdicio de alimentos. Una masa fija (5 kg) de diferentes sustratos alimenticios y agua destilada (5 kg) se digirieron anaeróticamente en una proporción de 1:1, y su energía derivable se midió respectivamente para biogás crudo y purificado. Los sustratos alimentarios utilizados para el proceso incluyen frijoles, arroz, ñame, fufu, plátano maduro, garri, maíz, plátano verde, batata, plátano maduro, piña y melón de agua, pero garri produjo el mayor biogás crudo de 140 g y el mayor biogás purificado de 110 g. Esto fue seguido por fufu y yam que produjeron biogás crudo de 120

g y biogás purificado de 90 g. Entre los sustratos anteriormente mencionados digeridos, las batatas tenían el rendimiento de biogás crudo más bajo de 70 g con el rendimiento de biogás purificado más bajo de 50 g. Se observó que el pH de las materias primas antes de la digestión variaba entre 6.8 y 7.2, mientras que el pH de las mismas materias primas después de la digestión variaba entre 7.4 y 7.7, lo que indica que el subproducto puede ser útil como un producto valioso para el estiércol vegetal después de la recuperación del biogás. Por lo tanto, este estudio ha demostrado que el biogás se puede producir a partir de diferentes desperdicios de alimentos, pero algunos desperdicios de alimentos tienen un mayor potencial de energía de biogás que otros desperdicios de alimentos.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Descomponer la materia orgánica de las aguas residuales porcinas por biometanización, para generar biogás y biol en el C.P. Ambato Tamborapa, distrito de Bellavista, 2019.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar un análisis físico-químico de las descargas residuales porcinas en el laboratorio de la Universidad Nacional de Jaén.
- Construir un sistema de biodigestores a nivel piloto a nivel de pequeña escala en el C.P. Ambato Tamborapa.
- Determinar los parámetros óptimos de agua residual porcina, pulpa orgánica y estiércol de ganado para descomponer las aguas residuales porcinas.
- Determinar el volumen óptimo de biogás y biol.

III. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Materiales y métodos

3.1.1 Población, muestra y muestreo

Población:

La población estuvo constituida por el efluente generado por las granjas porcinas del C.P. Ambato Tamborapa, distrito de Bellavista.

La granja de cerdos se encuentra en el C.P. Ambato Tamborapa en las siguientes coordenadas UTM (740988 E; 9387473 N), (742757 E; 9385629 N), (742978 E; 9383806 N), (745258 E ; 9381276 N), (749462 E; 9374592 N), con temperatura promedio de los 26 °C, siendo propiedad del señor Pedro Jimenez Godos.

Los corrales fueron aseados 2 veces por día, con agua del canal de usuarios Horcon-Limón, gastando un promedio de 2 000 – 4 000 litros de agua), la granja cuenta con aproximadamente 30 cerdos, los cuales son alimentados dos veces diarias con alimento balanceado (figura 1).



Figura 1. Granja de cerdos para el proyecto de investigación

El mapa muestra el recorrido desde la ciudad de Jaén hasta el en el C.P. Ambato Tamborapa (figura 02).

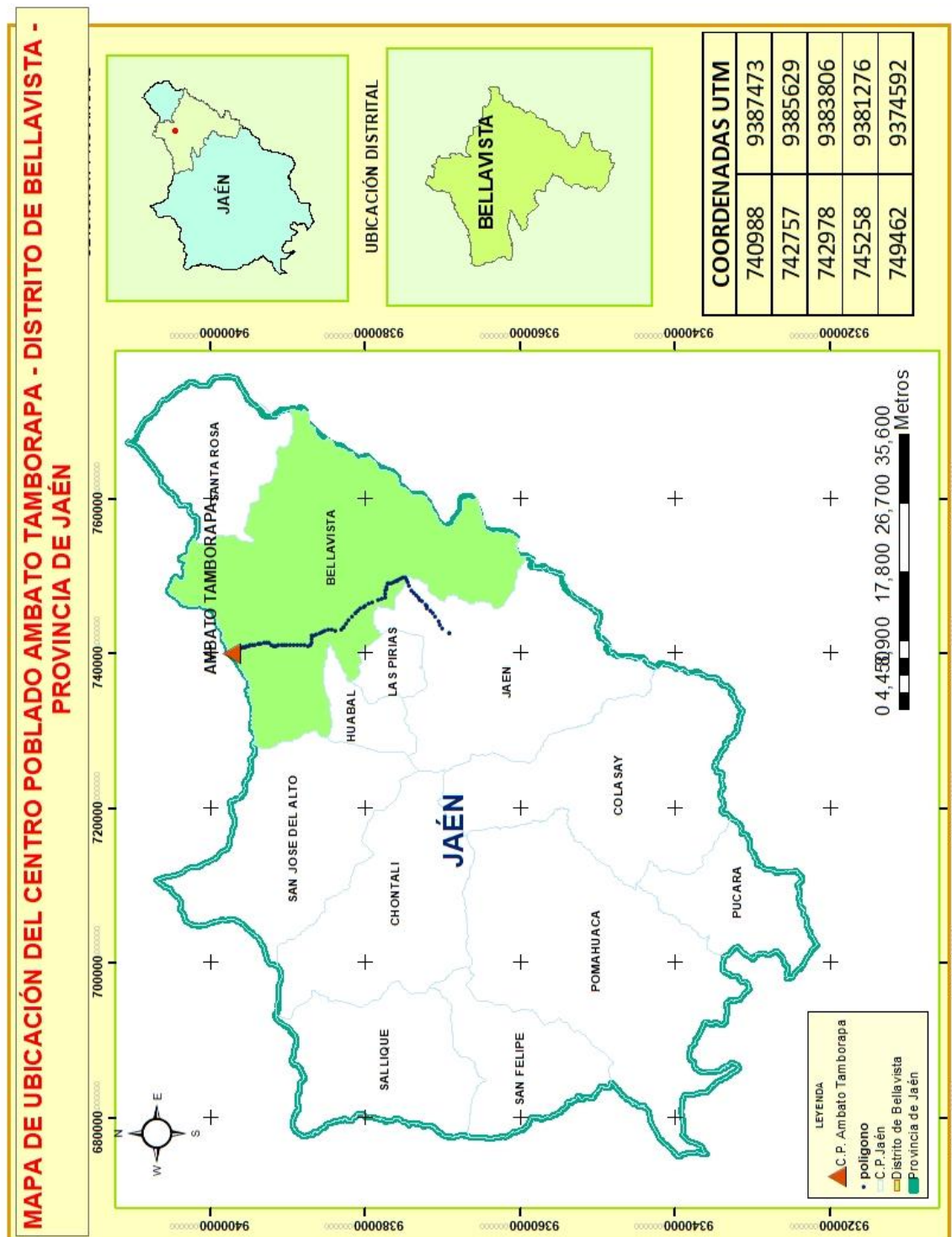


Figura 2. Ubicación del área de trabajo en la granja de cerdos.

El mapa muestra la ubicación de la parcela en la cual esta situada la granja de cerdos en el C.P Ambato Tamborapa (figura 3).

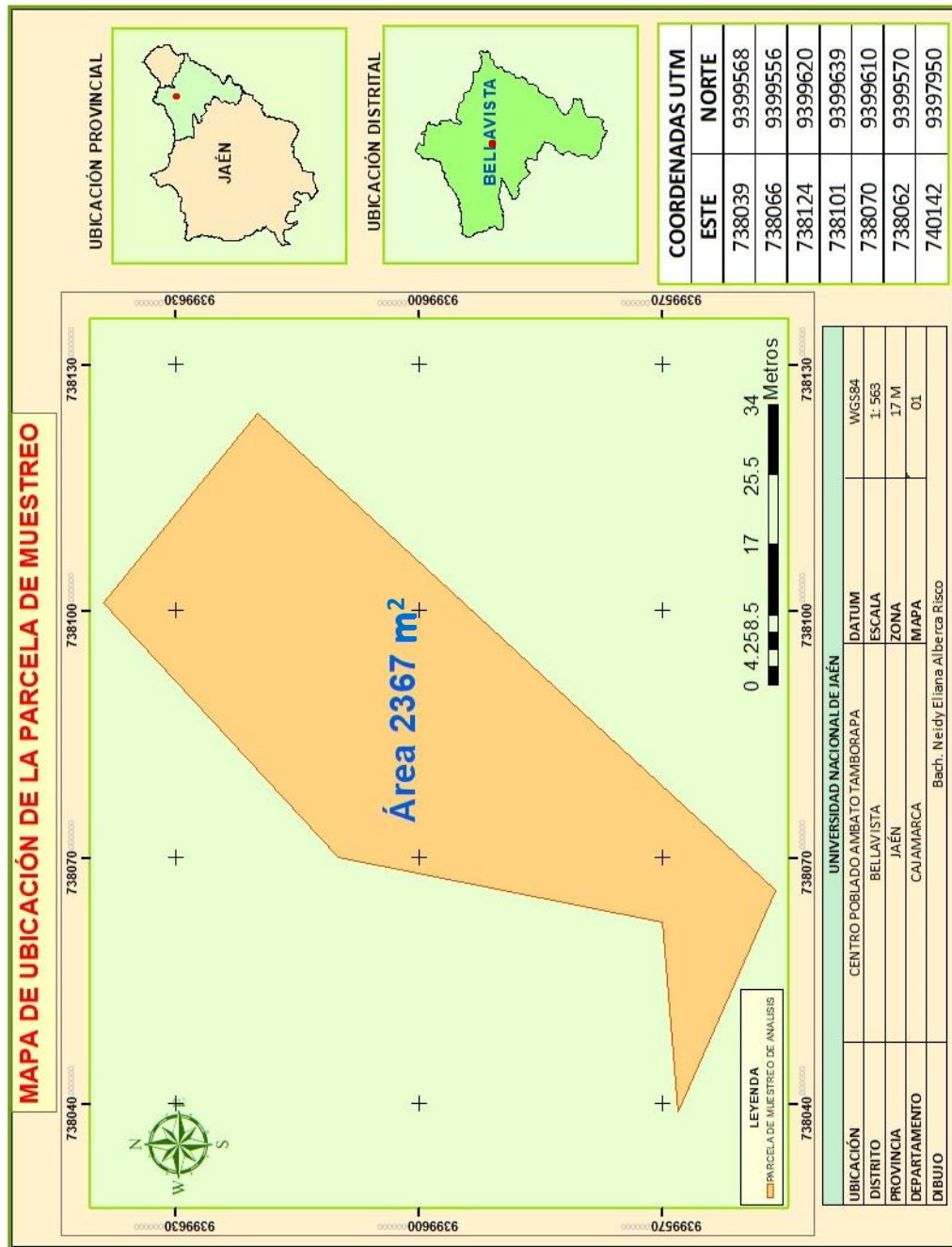


Figura 3. Cálculo del área del predio rural

Muestra

La muestra fue obtenida de las descargas residuales producida por la limpieza de la granja criadora de cerdos del C. P. Ambato Tamborapa. Sobre esas descargas se obtuvieron volúmenes (L) que serán sometidos a procesos de biometanización.

Muestreo

La toma de muestras se recogió en baldes de plástico, y luego fueron trasladadas al área de trabajo para la instalación de los biodigestores. El muestreo se realizó después de la limpieza de los corrales de cerdos al final de la tubería de desagüe.

3.1.2 Variables de estudio

Variable independiente:

Materia orgánica (MO)

Nitrógeno total (N)

Fósforo (P)

Potasio (K)

Variable dependiente:

Volumen de biogás

Volumen de biol

Tabla 1. Variables de estudio

Variable independiente	Definición	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos de medida
- Nitrógeno total	Es la suma del nitrógeno orgánico y el nitrógeno amoniacal NH_4^+	a) Es un indicador del progreso de la biodegradación de la materia orgánica disuelta.	a) Medida del nitrógeno Kjeldahl	a) % N
- Concentración de materia orgánica	La materia orgánica procedente de agua doméstica porcina es contaminante.	a) Es el resultado de la digestión de los cerdos.	a) Medida de la materia orgánica	a) % M.O.
- Concentración de fósforo	La presencia de fósforo es un elemento de eutrofización para las aguas residuales.	a) Su presencia es un contaminante de las aguas residuales.	a) Medida de fósforo	a) % P

- Concentración de potasio	La presencia de potasio es un elemento de eutrofización para las aguas residuales.	a) Su presencia es un eutrofizante de las aguas residuales.	a) Medida de potasio	a) % K
Variable dependiente	Definición	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos de medida
- Volumen de biogás. - Volumen de biol.	El metano es un gas que se forma por la anaerobiosis, juntos a otros gases que se denominan biogás.	El biogás es una sustancia reducida causada por la ausencia de oxígeno en una biodegradación.	a) Medida del volumen de biogás. b) Medida del volumen de biol	a) cm ³ de biogás. b) mL. biol.

3.2. Método, técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos

3.2.1 Metodología

Recolección de la muestra del agua residual porcina.

La limpieza se realiza dos veces al día, la muestra se recolectó después del respectivo aseo de los corrales que están contruidos a base de material noble y bambú, Este efluente de alta concentración de contaminantes fue analizada físico y químicamente en la Universidad Nacional de Jaén y en el Laboratorio Rivelab SAC.

La muestra fue turbia y homogénea. Se recolectó en botellas de plástico (que cumplieron el rol de biodigestores) de 7 litros siendo un total de 12 muestras y un 13^{avo} de control o testigo (figura 4).

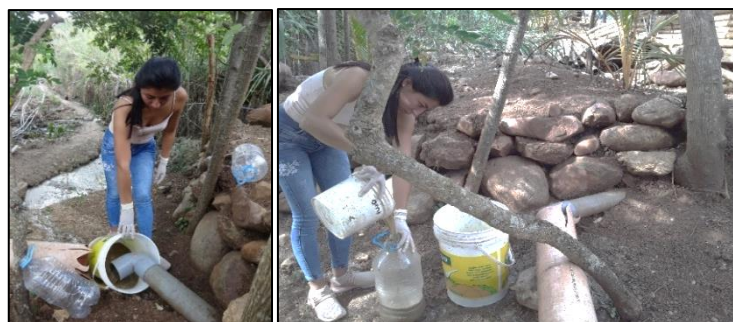


Figura 4. Recolección de las aguas residuales porcinas

Instalación del piloto experimental

Para la construcción del piloto se utilizó botellas de plástico (7 litros), los cuales fueron utilizados como unidades de biodigestores (figura 5).



Figura 5. Botellas utilizadas como piloto a pequeña escala

Objetivo N° 1: Realizar un análisis físico-químico de las descargas residuales porcinas en el laboratorio de la Universidad Nacional de Jaén.

- El agua residual porcina fue trasladada hacia el laboratorio de la Universidad Nacional de Jaén, para la evaluación de: pH, CE, sólidos totales y sólidos suspendidos
- El agua residual porcina fue enviada en un corcho con hielo para su conservación hacia el Laboratorio Rivelab SAC-Trujillo, para el análisis porcentual de materia orgánica, carbono orgánico, minerales, nitrógeno Kjeldahl, fósforo y potasio, se enviaron 2 botellas de 1 litro cada uno los resultados se adjuntan en el capítulo de anexos.

Evaluación del pH:

Para la medida del pH del agua residual porcina, se realizó la calibración del pHmetro, utilizando solución buffer de 4.0 y 10.0, seguidamente, se lavó el bulbo del electrodo con abundante agua destilada, luego se procedió a medir el pH de tres muestras de agua residual porcina cruda o muestra inicial y tres muestras de agua residual porcina descompuesta mediante proceso anaeróbico. Así, se midió la variación del pH en la biometanización (figura 6).



Figura 6. Evaluación del pH y sólidos suspendidos del agua residual porcina.

Evaluación de la conductividad eléctrica:

Se evaluó la conductividad eléctrica de tres muestras de agua residual porcina cruda es decir muestra inicial y tres muestras de agua residual porcina descompuesta mediante el proceso de fermentación anaeróbica. El objetivo fue medir cualitativamente el contenido de las sales disueltas.

Materiales y equipos:

- Vaso de precipitación de 250 mL.
- Un agitador de vidrio.
- 6 unidades de papel filtro.
- Conductivímetro de exactitud de al menos 0.01 dS/m (10 μ S/cm).

Reactivos químicos:

- Solución de cloruro de potasio, KLC, 0.1mol/L.

Procedimiento:

Se mezcló 50 ml de agua residual porcina con 50 ml de agua destilada y se procedió a filtrar a vacío. Este procedimiento fue realizado para las tres muestras frescas y las otras tres muestras descompuestas.

Estandarización del potenciómetro:

Se siguió el método formulado por (Metcalf y Eddy,1995). Se preparó una solución de cloruro de potasio, KCl, 0.1 mol/L. Para ello, se pesó 7.45 g de cloruro de potasio (KCl), la misma que fue desecada en una estufa a 105 °C para eliminar todo rastro de humedad.

Luego, se disolvió en un matraz aforado de 1 000 ml enrazado con 900 ml agua de destilada. Finalmente, de esta solución se extrajo 50 ml para evaluar su conductividad eléctrica estandarizada, la conductividad fue 1.412 mS/cm. Este parámetro se ajustó al conductivímetro y se midió la conductividad de cada muestra.

Evaluación de los sólidos totales:

Se procedió a evaluar los sólidos totales de 6 muestras provenientes en botellas de plástico. El procedimiento consistió en medir un aproximado de 20 ml de agua residual porcina (fresca y descompuesta). Seguidamente, se procedió a secar en la estufa seis crisoles para lograr evaporar todo rastro de humedad. Secado los crisoles se procedió a tarar cada uno en una balanza analítica (figura 7).

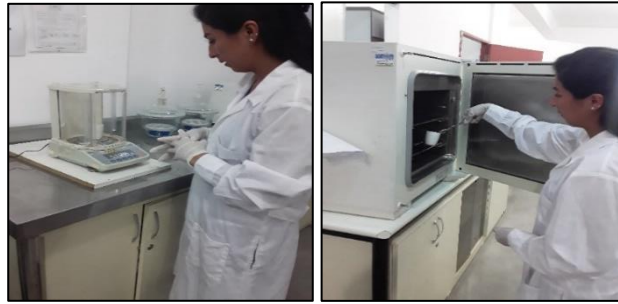


Figura 7. Tara y secado de crisoles

Los crisoles secos y la muestra residual de agua porcina se pesaron nuevamente. Luego se colocaron al interior de la estufa para la evaporación del agua residual porcina durante 105 °C en 60 minutos. Al cabo de ese tiempo se colocaron los crisoles en un desecador con sales sulfato de cobre anhidro como agente desecador. Allí los crisoles se mantuvieron por 20 minutos hasta su enfriamiento total (Metcalf y Eddy, 1995).

Luego, se volvieron a pesar los crisoles con los sólidos secos en su interior, por diferencia de peso se obtuvieron el peso de los sólidos secos. Para determinar la concentración de los sólidos totales se aplicó la siguiente relación:

$$\text{mg sólidos totales/L} = (\text{B} - \text{A}) \times 1000 / \text{volumen de muestra (en mL)}$$

En donde:

A: Es el peso del crisol de evaporación vacío (en mg).

B: Es el peso crisol de evaporación + residuo seco (en mg).

Evaluación de los sólidos suspendidos:

Se trabajó con el procedimiento anterior. Se midieron los sólidos suspendidos totales de tres muestras de agua residual porcina cruda y tres muestras de agua residual porcina descompuesta. El principio básico fue medir el sobrepeso que adquirió el papel filtro al retener los sólidos suspendidos del agua residual porcina.

Materiales y equipos:

- Matraz de 250 ml.
- Equipo de filtración a vacío (Laboratorio de Química UNJ).
- 6 unidades de papel filtro.
- Estufa (Laboratorio de Química UNJ).
- Desecador de vidrio.
- Balanza analítica.
- Agitador de vidrio.

Procedimiento:

Se procedió a evaporar la posible humedad de las 6 unidades de papel filtro al interior de la estufa. Luego se dejó enfriar en un desecador, en cuyo interior se colocó sulfato de cobre anhidro, para atrapar todo vestigio de humedad. A continuación se pesó cada papel filtro (peso A), luego se tomaron muestras de 50 ml de cada una de las muestras de agua residual porcina fresca y descompuesta. A continuación se instaló el equipo filtración a vacío, el cual constó de un compresor, un embudo Büchner y el papel filtro previamente seco y pesado.

Luego se procedió a filtrar cada una de las muestras a través del papel filtro colocado sobre el embudo con la cara rugosa hacia arriba y por succión el líquido filtrado cae sobre un matraz de 250 ml, previamente conectado a la bomba de vacío, Vera et al. (2017).

Una vez que cada papel filtro ha retenido las partículas suspendidas del agua residual porcina, se procedió a evaporar los rastros de humedad. Para ello se colocaron nuevamente al interior de la estufa a una temperatura de 105 °C, por 20 minutos. Secos los papeles filtros se enfriaron en el desecador con sulfato de cobre anhidro.

Cada papel filtro seco se volvió a pesar en la balanza analítica y se anotó el nuevo peso (B). Finalmente, se aplicó la siguiente relación para determinar el peso de los sólidos suspendidos

$$\text{mg sólidos suspendidos totales/L} = [(B - A) \times 1000] / \text{volumen muestra (mL)}$$

A: peso del filtro seco antes de la filtración (en mg).

B: peso del filtro + residuo seco (en mg).

Objetivo N° 2: Construir un sistema de biodigestores a nivel piloto a nivel de pequeña escala en el C.P. Ambato Tamborapa.

Se construyó un sistema a nivel piloto de prueba, con un alcance tipo laboratorio es decir a pequeña escala, los volúmenes de cargas fueron pequeñas, se utilizaron 13 botellas de plástico de 7 litros cada uno. Para su funcionamiento fue necesario perforar las tapas para el empalme de la manguera plástica (típicas de un equipo de venoclisis) para recoger las emisiones gaseosas (biogás) (figura 8).



Figura 8. Acondicionamiento de mangueras a biodigestores.

Luego se procedió a reunir los ingredientes para el desarrollo del proceso anaeróbico adquiriéndose pulpa de café como ingrediente catalizador del proceso bioquímico, este subproducto por la temporada de Jaén, fue conseguido desde el distrito de Chirinos. Asimismo se tomó estiércol de ganado vacuno como insumos de bacterias metanogénicas, indispensable para la fermentación anaeróbica (figura 9).



Figura 9. Insumos: Agua residual porcina, estiércol (ganado) y pulpa de café.

A continuación, se procedió a etiquetar las botellas receptoras del biogás, con la finalidad de medir el volumen exacto de biogás formado. Luego, se sellaron los botellas plásticas con silicona líquida sobre cada tapa de los biodigestores, posteriormente en una tina de agua se rodearon los biodigestores de 7 litros y se introdujo una manguera de emisión de gas dentro de cada botella de plástico de 1 litro en el interior de la tina (figura 10).



Figura 10. Instalación de los 13 biodigestores.

Cada botella fue identificada con un número, la misma numeración tuvieron las botellas que ocuparon un lugar dentro de la tina inundados de agua. Finalmente, se concluyó la instalación de biodigestores a nivel piloto (figura 11).



Figura 11. Piloto de biodigestores para agua residual porcina

Objetivo N° 3: Determinar los parámetros óptimos de agua residual porcina, pulpa orgánica y estiércol de ganado para descomponer las aguas residuales porcinas.

La determinación de los parámetros óptimos de agua residual fue realizado mediante el diseño George E. P. Box y Donald Behnken para optimizar los tres factores seleccionados: Agua residual porcina, estiércol de ganado vacuno y pulpa de café.

El agua residual porcina aportó un contenido de materia orgánica y nutrientes. El estiércol de ganado aportó bacterias metanogénicas (*Methanobacterium*, *Methanobrevibacter*, *Methanosphaera* y *Methanothermobacter*) y la pulpa de café cumplió el rol de facilitador de las reacciones bioquímicas. El modelo Box- Behnken estableció 13 ensayos experimentales bajo el criterio aleatorio para tres variables. De las cuales tres representaron los puntos promedios de cada variable, en sus niveles altos y bajos. Tal como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Valores de cada variable en el biodigestor.

Concentración	Agua residual porcina (ml)	Estiércol de ganado vacuno (gr)	Pulpa de café (gr)
Alta (+)	5 000	1 500	100
Media (0)	3 000	1 000	62.5
Baja (-)	1 000	500	25

Fuente: Adaptación a (Pérez y Torres, 2019).

A los volúmenes de cada variable se adicionó agua del canal que hay en el área de investigación, que se caracterizó por no poseer cloro residual.

Tabla 3. Distribución de valores de variables según Box - Behnken.

N° de ensayos	Variables		
	A: Agua residual porcina	B: Estiércol de ganado vacuno	C: Pulpa de café
1	-	-	0
2	+	-	0
3	-	+	0
4	+	+	0
5	-	0	-
6	+	0	-
7	-	0	+
8	+	0	+
9	0	-	-
10	0	+	-
11	0	-	+
12	0	+	+
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0

Fuente: Adaptación a Pérez y Torres (2019).

El modelamiento Box-Behnken es un diseño de superficie de respuesta esférica y giratoria, que incluye un punto central y puntos medios entre las esquinas, circunscritos sobre una esfera Jaramillo et al. (2013). Son diseños factoriales incompletos por lo que los puntos experimentales son escogidos para lograr una estimación eficiente.

Este diseño es ampliamente usado para la optimización de varios procesos químicos y físicos, donde el número de experimentos es determinado de acuerdo a los requerimientos de cada proceso. Es necesario aclarar que no es lo mismo valor máximo y valor óptimo, es decir, el valor óptimo puede ser menor o mayor que el valor máximo, utilizando menor cantidad de subproducto. Se identificaron factores independientes para una variable de respuesta (formación de biogás) por ello se empleó el diseño estadístico de optimización y se pudo identificar la combinación de factores que mayor influencia tuvieron en la variable respuesta.

Los experimentos son ejecutados en orden aleatorio y el tratamiento de datos para comparar el efecto de los tratamientos en la optimización. La variable dependiente (Y) se genera en modelos de segundo como se muestra en la siguiente ecuación, Jaramillo et al. (2013).

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^2 \beta_{ii}X_i + \sum_{i=1}^2 \beta_{ii}X_i^2 + \sum_{i=1}^2 \beta_{ij}X_i X_j$$

Donde:

Y: es la variable dependiente predicha.

β_0 : Coeficiente intercepto.

β_i , β_{ii} y β_{ij} : Coeficientes del modelo lineal, cuadrático e interacción, respectivamente

X_i y X_j : Valores codificados de las variables independientes.

Tabla 4. Valores máximo y mínimo de variables según Box - Behnken.

Grado	A: Agua residual porcina (ml)	B: Estiércol de ganado vacuno (gr)	C: Pulpa de café (gr)
Máximo	5 000	1 500	100
Mínimo	1 000	500	25

Fuente: Adaptación personal de la tesista.

En consecuencia, la tabla de valores que definió a cada variable del proceso fermentativo anaeróbico quedó conformado de la siguiente manera para cada botella de plástico, que previamente fueron acondicionadas con una cinta métrica.

Tabla 5. Concentración de valores de variables según Box - Behnken.

N° de ensayos	Variables		
	A: Agua residual porcina (ml)	B: Estiércol de ganado vacuno (gr)	C: Pulpa de café (gr)
1	1 000	500	62.5
2	5 000	500	62.5
3	1 000	1 500	62.5
4	5 000	1 500	62.5
5	1 000	1 000	25
6	5 000	1 000	25
7	1 000	1 000	100
8	5 000	1 000	100
9	3 000.	500	25
10	3 000	1 500	25
11	3 000	500	100
12	3 000	1 500	100
13	3 000	1 000	62.5
14	0	0	0
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0

Fuente: Adaptación personal de la tesista.

Análisis: Una de las composiciones o mezclas fue la que generó biogás de forma óptima, que se conoció al correr el algoritmo Box - Behnken.

Actividad N° 4: Determinar el volumen óptimo de biogás.

Para la determinación del volumen óptimo de biogás tomando en cuenta el biol, se necesitó del modelo estadístico de Box-Behnken. El objetivo fue optimizar una respuesta (variable de salida: Biogás) que estuvo influenciada por varias variables independientes (variables de entrada: Agua residual porcina, estiércol de ganado vacuno y pulpa de café). Se realizaron una serie de pruebas, llamadas ejecuciones, en las que se realizaron cambios en las variables de entrada para identificar las razones de los cambios en la respuesta de salida. Box- Behnken utilizaron un modelo de polinomio de segundo grado para la optimización. No obstante que este modelo es solo una aproximación, es muy utilizado por su utilidad en varias aplicaciones Ward et al. (2008).

Término de la biometanización: 29 días.

Se determinó el promedio de 29 días de digestión para medir el volumen de biogás en las botellas de plástico acondicionadas con una cinta métrica que permite medir el volumen de agua desalojada (figura 12).



Figura 12. Comparación del color entre el primer y último día.

La prueba de los cambios químicos que ha sufrido el agua residual porcina fue la variación de color del efluente, se observó una tonalidad más oscura el último día de la biodigestión anaeróbica.

Para la desinstalación del piloto de biodigestores, el primer paso fue la constatación del biogás formado al interior de las botellas plásticas de 1 litro. Seguidamente, se marcó con un plumón azul el nivel del agua desalojada ejercida por la presión del gas emitido, inclusive se volvió a reescribir la numeración en algunas botellas por la pérdida de nitidez de los números. También se observó que algunas botellas de litro intentaron flotar por el contenido de biogás en su interior.

Posteriormente, se desalojó el agua de la tina para tener facilidad de marcar el nivel de agua desalojada (figura 13).



Figura 13. Inicio de la desinstalación del piloto de biodigestores.

A continuación se procedió a marcar el nivel del agua desalojada de las botellas de 1 litro, para ello se marcó sobre una traza de papel con una línea azul (figura 14).



Figura 14. Marcado de la línea de agua desalojada en botellas de 1 litro: Biogás.

De todas las botellas de 1 litro que contenían agua y biogás, se seleccionaron y sellaron 2 botellas para su análisis porcentual del biogás. Asimismo, de cuatro biodigestores se tomaron 1 litro (biol) que se sellaron para su respectivo análisis del biol y sólidos suspendidos (biosol). Es decir, en total se embalaron y enviaron 6 botellas para su respectivo análisis.

Luego, los botellas marcadas con una línea azul fueron conducidas al laboratorio para medir el volumen exacto de agua desalojada.

Para ello, se hizo uso de agua aplicándole color para graficar mejor el volumen exacto. Y con una probeta de 500 ml, se procedió a medir los volúmenes de cada botella.

Por relación de forma y similitud entre todas los botellas plásticos de 1 litro se estimó el volumen de los botellas selladas que fueron enviadas al laboratorio para su análisis del biol y biosol. Dado el contenido de materia orgánica en el estiércol de cerdos se solicito el análisis químico sobre la presencia de nitrógeno, fósforo y potasio (NPK). En cuanto al biogás formado, se solicitó la composición porcentual del biogás, para mejor comprensión de su poder inflamable (figura 15).



Figura 15. Medida del volumen de biogás formado.

Con los datos obtenidos en el laboratorio de la Universidad Nacional de Jaén, se procedió a completar la tabla de Box-Behnken.

Tabla 6. Concentración de valores de variables según Box-Behnken.

N° de ensayos	Variables			
	A: Agua residual porcina (ml)	B: Estiércol de ganado vacuno (gr)	C: Pulpa de café (gr)	Biogás producido en (cm ³)
1	1 000	500	63	205
2	5 000	500	63	325
3	1 000	1 500	63	225
4	5 000	1 500	63	415
5	1 000	1 000	25	405
6	5 000	1 000	25	340
7	1 000	1 000	100	280
8	5 000	1 000	100	350
9	3 000	500	25	300
10	3 000	1 500	25	265
11	3 000	500	100	310
12	3 000	1 500	100	210
13	3 000	1 000	63	240
14	0	0	0	0
15	0	0	0	0
16	0	0	0	0
17	0	0	0	0

Fuente: Adaptación personal de la tesista.

Posteriormente la desinstalación del piloto de biodigestores, se procedió a darle un valor agregado al biol (agua residual porcina descompuesta).

Una observación notoria es que el biol tuvo un olor que no fue desagradable al olfato a diferencia del agua residual porcina fresca y eso se debió muy probablemente a la mineralización de la materia orgánica que tuvo al comienzo de la biometanización de los nutrientes.

Por otra parte, el color fue más oscuro que al inicio del proceso anaeróbico, lo cual acreditó de forma cualitativa la existencia de reacciones bioquímicas al interior del biodigestor (figura 16).



Figura 16. Acopio del biol formado por descomposición.

A continuación se trasladó el biol a una mochila de 20 litros para su aplicación en las plantas cultivadas del predio, como limones, naranjas y yucas (figura 17).



Figura 17. Aplicación y uso del biol formado.

IV. RESULTADOS

Resultado del análisis físico-químico las descargas residuales porcinas en el laboratorio de la Universidad Nacional de Jaén.

Tabla 7. Se muestra el pH de agua residual porcina cruda

Agua residual porcina	Medida del pH
Botella 1	6.95
Botella 2	6.55
Botella 3	6.65
Promedio pH	6.71

Fuente: Adaptación personal de la tesista.

Análisis: El pH del agua residual porcina tuvo un valor que osciló entre 6.95 hasta 6.65, el potencial de hidrógeno caracteriza la acidez inicial del proceso anaeróbico, el ácido comienza hacer su primera actividad reduciendo el pH por debajo de 7 (aumentado el contenido de ácido), las bacterias metanogénicas luego empiezan usando estos ácidos, aumentando el pH a neutro, si el medio es demasiado ácido, detiene la actividad de enzimas.

Tabla 8. Se muestra el pH de agua residual porcina descompuesta

Agua residual porcina	Medida del pH
Botella 4	7.80
Botella 5	7.65
Botella 6	7.20
Promedio pH	7.55

Fuente: Adaptación personal de la tesista.

Análisis: El valor normal de funcionamiento de producción de biogás está entre 7 y 8 (neutro), si el medio es demasiado alcalino las fermentaciones producen hidrógeno e hidrógeno sulfídrico (H₂S).

Tabla 9. Conductividad eléctrica del agua residual porcina cruda

Agua residual porcina	Conductividad electrica (dS/m o mS/cm)
Botella 1	4.05
Botella 2	3.79
Botella 3	3.15
Promedio conductividad eléctrica	3.66

Fuente: Adaptación personal de la tesista.

Análisis: La CE del agua residual porcina tuvo valores dentro de los normales.

Tabla 10. Conductividad eléctrica del agua residual porcina descompuesta

Agua residual porcina	Conductividad eléctrica (dS/m o mS/cm)
Botella 4	2.99
Botella 5	2.75
Botella 6	2.65
Promedio conductividad eléctrica	2.79

Fuente: Adaptación personal de la tesista.

Análisis: La CE del agua residual porcina descompuesta mediante la digestión de las sales diluidas que fueron utilizadas para el metabolismo de las bacterias, esto nos indica la importancia que tiene el proceso para reducir los índices de salinidad, ya que estos actúan como inhibidores del proceso de fermentación, lo cual afectarían la estabilización de los sub productos generados por el agua residual porcina para la aplicación en la agricultura.

Determinación de los sólidos totales:

Botella 1:

mg sólidos totales/L = (B - A) x 1000 / volumen de muestra (en mL)

mg sólidos totales/L = (91.5863 – 57.1295) (1 000) /20

= 1 722.84 ppm.

Botella 2:

mg sólidos totales/L = (B - A) x 1000 / volumen de muestra (en mL)

mg sólidos totales/L = (90.7761 – 57.1295) (1 000) /20

= 1 682.33 ppm.

Botella 3:

mg sólidos totales/L = (B - A) x 1000 / volumen de muestra (en mL)

mg sólidos totales/L = (90.0935 – 57.1295) (1 000) /20

= 1 648.20 ppm.

Tabla 11. Sólidos totales del agua residual porcina cruda

Agua residual porcina	Sólidos totales (ppm)
Botella 1	1 722.84
Botella 2	1 682.33
Botella 3	1 648.20
Promedio ST	1 684.45

Fuente: Adaptación personal de la tesista.

Tabla 12. Sólidos suspendidos del agua residual porcina cruda.

Agua residual porcina	Sólidos suspendidos (ppm)
Botella 1	999.22
Botella 2	1 072.31
Botella 3	1 018.30
Promedio SS	1 029.94

Fuente: Adaptación personal de la tesista.

Tabla 13. Sólidos totales del agua residual porcina descompuesta

Agua residual porcina	Sólidos totales (ppm)
Botella 4	826.97 (remoción: 48 %)
Botella 5	975.89 (remoción: 58 %)
Botella 6	840.58 (remoción: 51 %)
Promedio ST	881.14 remoción promedio: 52.33%

Fuente: Adaptación personal de la tesista.

Tabla 14. Sólidos suspendidos del agua residual porcina descompuesta.

Agua residual porcina	Sólidos suspendidos (ppm)
Botella 4	369.72 (remoción 62.99 %)
Botella 5	418.21 (remoción 60.98 %)
Botella 6	448.06 (remoción 55.99 %)
Promedio SS	411.99 (remoción promedio: 59.98 %)

Fuente: Adaptación personal de la tesista.

Resultado del análisis físico-químico las descargas residuales porcinas en el laboratorio Rivelab SAC – Trujillo (Anexos).

Se realizó un análisis químico del agua residual porcina fresca y descompuesta. Sobre todo con el objetivo de conocer su contenido de nitrógeno, fósforo y potasio. Es decir, dado que se analizó excretas de cerdos, no fue materia del análisis el grado de contaminación, por cuanto es un tema lógico, y por qué además ello se corroboró con el análisis de los sólidos totales.

Tabla 15. Análisis químico del agua residual porcina fresca

Sustancias químicas	% en peso
Agua	85
Materia orgánica	7
Carbono orgánico	4.5
Minerales	2.87
Nitrógeno total Kjeldahl	0.25
Fósforo (P ₂ O ₅)	0.13
Potasio (K ₂ O)	0.25

Fuente: Reporte de análisis químico.

Análisis técnico:

El reporte mostró que el agua residual porcina es un efluente rico en materia orgánica, carbono orgánico, sustancias minerales, nitrógeno total, fósforo y potasio. Es decir, es un líquido que posee un alto poder de contaminación y generador de eutrofización. Por otra parte, si esta agua se riega a los cultivos existentes, no serán absorbidos por las plantas, por cuanto aún no se encuentran descompuestas ya que estos nutrientes no se encuentran mineralizados, por consiguiente no tiene ningún efecto positivo inmediato sobre los cultivos. Una observación que se realizó es que el agua residual porcina fresca tiene un olor muy

fuerte y desagradable. La presencia del nitrógeno total fue el resultado de la presencia de nitrógeno orgánico (resultado de la alimentación de los cerdos: proteínas) y nitrógeno amoniacal (NH_4^+ , resultado de la digestión del proceso anaeróbico, nótese la ausencia de oxígeno en su fórmula química) Soo et al. (2013). El fósforo y el potasio se encuentran presente porque ingresaron a los cerdos como resultados de su alimentación: polvillo de arroz, maíz molido, entre otros. Y estos productos a su vez, obtuvieron estos minerales a partir del suelo.

Tabla 16. Análisis químico del biol.

Líquido orgánico	% en peso
Nitrógeno total Kjeldahl	4.4
Fósforo (P_2O_5)	3.2
Potasio (K_2O)	2.4

Fuente: Reporte de análisis químico.

Análisis técnico:

La primera conclusión del reporte es que la materia orgánica se ha mineralizado es decir, los aniones y cationes se encuentran disponibles para su utilización. Todos ellos hacen un total del 10 % de nutrientes que es alto. Por otra parte, se dejó de lado conocer la existencia de otros nutrientes por los costos económicos que representaban, siendo los macro nutrientes de un cultivo el nitrógeno, fósforo y potasio. Se priorizó conocer su existencia porcentual dentro del biol.

Tabla 17. Análisis químico del biosol.

Sólidos orgánicos	% en peso
Nitrógeno total Kjeldahl	2.7
Fósforo (P_2O_5)	1.9
Potasio (K_2O)	1.6

Fuente: Reporte de análisis químico.

Análisis:

Se observó que los valores nutricionales fueron más altos en el biol (solución líquida) respecto al biosol (sólidos orgánicos). De forma, que mayor utilidad y rendimiento se tiene del biol descompuesto. El incremento de los nutrientes en el biol probablemente se deba a que las sustancias químicas se encuentran disueltas generando sus aniones y cationes (NH_4^+ ,

NO_3^- , K^+ y HPO_4^{2-}). Lo que significa que si deja a descomposición el biosol, es posible que con los días sufra una nueva descomposición y por ende incrementa sus porcentajes de nutrientes y tenga más beneficio para los cultivos Golusin et al.(2012).

Tabla 18. Análisis químico del biogás.

Análisis de gases	% en volumen
Metano (CH_4)	59.0
Dióxido de carbono (CO_2)	40.0
Nitrógeno (N_2)	0.64
Sulfuro de hidrógeno (H_2S)	0.08
Hidrógeno (H_2)	0.12
Otros	0.16

Fuente: Reporte de análisis químico.

Análisis técnico:

Se observó que el biogás contiene sustancias inflamables como el metano (CH_4) y el hidrógeno (H_2), el valor de ambas sustancias es que son gases que pueden servir para realizar una combustión con facilidad y aliviar los costos de utilizar el gas propano (C_3H_8), por otra parte, estas sustancias químicas son productoras de energías renovables, a diferencia del propano que es energía química no renovables, por su origen derivado del petróleo.

Resultado de la construcción de un sistema de biodigestores a nivel piloto a nivel de pequeña escala en el C.P. AmbatoTamborapa (figura 18).



Figura 18. Piloto instalado de biodigestores para agua residual porcina.

En la figura 18 se observó que algunas botellas de 1 litro marcan una tendencia a salir de su posición y muestran un intento de flotar sobre el agua, lo cual fue resultado de la presencia del biogás al interior de las botellas, que por un tema de diferencias de densidades el biogás obligó a las botellas de plástico a flotar, se observó que no todas las botellas tuvieron este comportamiento físico.

Resultado de la determinación de los parámetros óptimos de agua residual porcina, pulpa orgánica y estiércol de ganado.

Análisis estadístico-Biogás

Tabla 19. Valores óptimos para la biometanización.

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Agua residual	1 000.0	5 000.0	5 000.0
Estiércol	500.0	1500.0	952.97
Pulpa	25.0	100.0	100.0

Fuente: Valores de optimización

El StatAdvisor

Esta tabla 19 muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza Biogás sobre la región indicada. Se hace uso del cuadro de diálogo de Opciones de Ventana para indicar la región sobre la cual se llevará a cabo la optimización. Puede establecerse el valor de uno o más factores a una constante, estableciendo los límites alto y bajo en ese valor (figura 19).

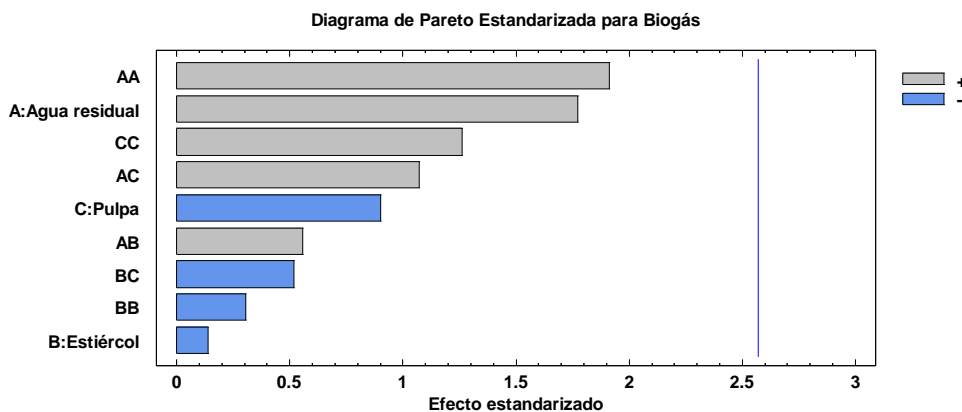


Figura 19. Diagrama de Pareto estandarizada para biogás

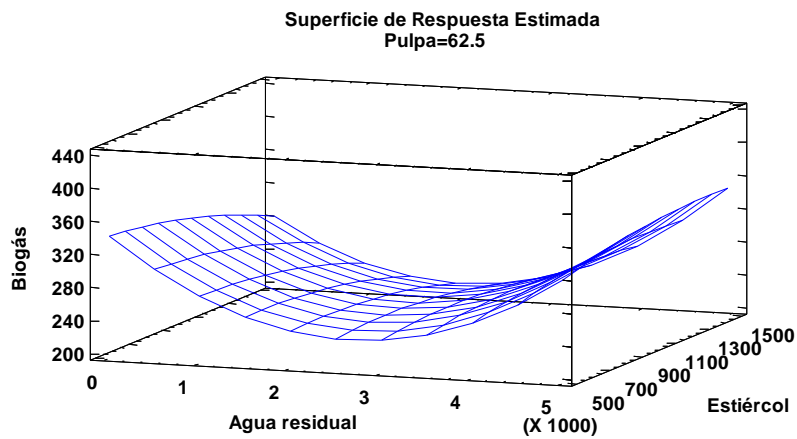


Figura 20. Diagrama de Pareto estandarizada para biogás

Resultado de la determinación del volumen óptimo de biogás y biol.

Los valores óptimos fueron señalados por el Statgraphics, los cuales fueron:

El programa muestra un volumen de biogás óptimo en la producción de biogás de 396.96 cm^3 en la que indica el volumen de biol óptimo = 5 000 ml, asimismo el volumen óptimo de pulpa café = 100 gr.

V. DISCUSIONES

Respecto a la acidez del agua residual porcina se halló pequeñas diferencias; Ramon et al. (2016), encontraron que el pH final osciló entre 6.6 y 7.0; a diferencia de Aniekan et al. (2019), determinaron que el pH antes de la digestión varió entre 6.8 y 7.2 y después de la digestión el pH varió entre 7.4 y 7.7; para la presente investigación, antes de la digestión el pH varió entre 6.55 y 6.95; y al final de la digestión el pH varió entre 7.20 y 7.80; de otro lado Soria et al. (2001) se reportaron que al final de la biometanización obtuvo un pH oscilante de 7.0 y 7.6. Sobre los volúmenes de carga de agua residual, Ramon et al. (2016), se utilizaron un biodigestor piloto de 6 cilindros de 55 galones de capacidad. En esta investigación se utilizó un piloto de 12 biodigestores y uno de control o testigo, de 7 litros cada uno. En todas las investigaciones se encontró un mínimo y ligero incremento de la acidez de las aguas residuales porcinas.

Respecto a la conductividad eléctrica, Soria et al. (2001) encontraron que la conductividad eléctrica al inicio de la biometanización fue de 5.8 dS/m y al final del proceso anaeróbico fue de 4.08 dS/m; en cambio en la presente investigación al inicio del proceso se tuvo una fluctuación de 3.15 y 4.05 dS/m, mientras que al concluir la biometanización se tuvo una oscilación entre 2.65 y 2.99 dS/m. La diferencia se explica por la cantidad de estiércol recogido, pues la conductividad eléctrica midió la cantidad de sales disueltas en el agua residual porcina. Es decir, a mayor cantidad de estiércol recogido habrá mayor cantidad de sales disueltas y por ende mayor conductividad eléctrica. Al final de la biometanización bajaron los valores de la conductividad eléctrica, debido a que las bacterias anaeróbicas al pasar el tiempo fueron alimentándose de los nutrientes, lo cual bajó el contenido de sales disueltas.

Respecto al valor de contaminación ambiental, los indicadores fueron los sólidos totales y sólidos suspendidos. En la presente investigación al inicio del proceso se tuvo 1 684.45 ppm y al final de la biometanización se tuvo 881.14 ppm de sólidos totales (es decir, existió una remoción del 47.68 %), además inicialmente, se tuvo 1 029.94 ppm de sólidos suspendidos (SS) y al final del proceso se tuvo 411.99 ppm de SS (osea una remoción del 59.99 %). Sin embargo, Ramon et al. (2016) determinaron que la remoción de sólidos totales fue 64 %. Probablemente, hizo uso de más tiempo de residencia. Sobre todo porque la sedimentación de sólidos suspendidos está en función del tiempo de residencia. En cambio, Garzón y Buelna (2014), dio cuenta, que obtuvo eficiencia de remoción de sólidos totales del 92.5 % durante un proceso que duró aproximadamente 60 días.

Arias (2006), determinó que la laguna facultativa removió el 65 % de los sólidos suspendidos. Por otra parte, Escalante (2002) utilizó un pre tratamiento a las aguas residuales y elevó la remoción de materia orgánica hasta el 95 %. De otro lado, Blanco (2015), sostuvo que en un primer biodigestor obtuvo el 71 % de los sólidos suspendidos totales (SST); mientras que el segundo digestor alcanzó una remoción del 62 % de los SST. Aniekan et al.(2019) se utilizaron la biometanización a partir de sub productos de cereales de arroz, frijoles, plátanos, entre otros, mediante un proceso anaeróbico en una proporción 1:1, con la finalidad de obtener biogás.

Respecto a la producción de biogás, este se produjo dependiendo de las cantidades de agua residual porcina que se sometieron a la biometanización. La presente investigación produjo volúmenes de biogás que oscilaron entre 205 cm³ y 415 cm³ y se obtuvo un 59 % de metano como máximo (en 29 días) en un biodigestor batch (la alimentación de la carga ingresa por única vez); en cambio, Ramon et al. (2016) produjeron 82,7 ml/h de biogás en un biodigestor continuo (alimentación de carga residual ingresa todo el tiempo) y una remoción del 70.12 % de la DQO. En cambio, Matter et al. (2017) se determinaron que la concentración promedio de metano (CH₄) en el biogás varió de 72 a 77 % entre todos los tratamientos que duraron 60 días. Por otra parte, Cepero et al. (2012) trabajaron con 69 biodigestores con una biodigestión de 1665 m³ que generaron 600 060 m³ de biogás y 2 601 TM de bioabonos, empleados en la mejora de la fertilidad de 1 830 ha de suelos. Sin embargo, no reportó los porcentajes de los nutrientes de

nitrógeno, fósforo y potasio.

En la presente investigación, se reportó que el biol produjo 4.4 % de nitrógeno, 3.2 % de fósforo y 2.4 % de potasio. Además analizado el biosol (residuos sólidos) se reportó que contuvieron 2.7 % de nitrógeno, 1.9 % fósforo y 1.6 % de potasio. Y el análisis del biogás formado arrojó una concentración porcentual de 59 % de metano (sustancia inflamable), 40 % de dióxido de carbono, 0.64 % de nitrógeno, 0.08 % de sulfuro de hidrógeno (responsable del olor fétido), 0.12 % de hidrógeno (sustancia inflamable) y un 0.16 % de otros gases menores.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones de la producción de biogás:

- El pH de la muestra sometido a biometanización sufrió modificaciones. Inicialmente la acidez tuvo valores entre 6.55 y 6.95. Al concluir la biodigestión el pH osciló entre 7.20 y 7.80, sí el medio es demasiado ácido, se detiene la actividad de enzimas y sí es demasiado alcalino la fermentación producen hidrógeno e hidrógeno sulfídrico, los valores obtenidos se encuentran dentro del rango aceptable para la producción de biogás.
- La conductividad eléctrica inicial del agua residual porcina fluctuó entre 3.15 y 4.05 dS/m, al final del proceso anaeróbico tuvo valores entre 2.65 y 2.99 dS/m, que nos indica la concentración de sales minerales disueltas en el agua, obteniéndose valores iniciales con un promedio 3.66 dS/m y valores finales con un promedio de 2.79 dS/m.
- Se construyó el sistema piloto de biodigestores, el cual constó de 12 tratamientos más 1 control o testigo, siendo un total de 13 botellas con capacidad de 7 litros cada una se observó que la coloración de las botellas se fue modificando debido al proceso de biometanización, tornándose más oscuro que el color inicial.
- En la presente investigación se obtuvo biol cuya composición porcentual nutritiva fue 4.4 % de nitrógeno, 3.2 % de fósforo y 2.4 % de potasio. El biosol obtenido tuvo una composición porcentual nutritiva de 2.7 % de nitrógeno, 1.9 % fósforo y 1.6 % de potasio. Y el biogás obtenido tuvo una composición porcentual gaseosa igual a 59 % de metano (sustancia inflamable), 40 % de dióxido de carbono, 0.64 % de nitrógeno, 0.08 % de sulfuro de hidrógeno (responsable del olor fétido), 0.12 % de hidrógeno (sustancia inflamable) y un 0.16 % de otros gases menores.

- Los sólidos totales del agua residual porcina fueron 1 684.45 ppm. Al final del proceso los sólidos totales fueron 881.14 ppm de sólidos totales. Es decir, se tuvo una remoción del 47.68 %. Además, al inicio de la biometanización los sólidos suspendidos promedio fueron 1 029.94 ppm y al final del proceso anaeróbico fueron 411.99 ppm de SS, es decir, se tuvo una remoción de 59.99 %.
- Se determinó que el volumen de óptimo de biogás fue 396.96 cm³, que la concentración óptima de biol fue 5 000 ml y que la concentración óptima de pulpa de café fue 100 gr.
- El piloto de biodigestores produjo volúmenes de biogás que en promedio fluctuaron entre 205 cm³ y 415 cm³ y se obtuvo un 59 % de metano como máximo (en 29 días) en un biodigestor batch.

Recomendaciones en base a la investigación.

- Que la Carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental promueva investigaciones con una identidad social, que permita realizar propuestas hacia la sociedad en el cuidado del medio ambiente y el mejor uso de los productos y sub productos agrícolas y pecuarios.
- Aprovechar todo tipo de estiércoles para la producción de biogás además de darle un valor agregado al mismo tiempo se estaría haciendo uso de energías renovables.
- Realizar procesos anaeróbicos y aeróbicos con mayores cantidades de aguas residuales porcinas para obtener una mayor utilidad al tratar sub productos agropecuarios. Así se podría contar con un biol en favor de los propios cultivos, de ésta manera, se estaría promoviendo la cultura del reciclaje y se cuidaría mejor las quebradas.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aniekan, E. I., Desmond, I. I., y kanu, I., E. N. (2019). Investigation of Biogas Energy Derivation from Anaerobic Digestion of Different Local Food Wastes in Nigeria. Academic Platform Journal of Engineering and Science 7-2, 332-340, 2019.
- Arias López, J. A. (2006). Manejo de aguas residuales y excretas en la producción de cerdos en Zamorano, Honduras. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Zamorano, Honduras.
- Blanco, D., Suárez, J., Jiménez, J., González, F., Álvarez, L. M., Cabeza, E., y Verde, J. (2015). Eficiencia del tratamiento de residuales porcinos en digestores de laguna tapada. Pastos y Forrajes, Vol. 38, N° 4, octubre-diciembre, 441-447, 2015 / D. Blanco
- Cepero, L., Savran, V., Blanco, D., Díaz Piñón, M. R., Suárez, J. y Palacios, A. (2012). Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores. Pastos y Forrajes, Vol. 35, No. 2, abril-junio, 219-226, 2012.
- Escalante, E., V. E. (2002). Tratamiento de efluentes de una granja porcícola en el estado de Campeche. XXVIII, Congreso Inter americano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cancún, México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México.
- Garzón, Z., M. A. y Buelna, G. (2014). Caracterización de aguas residuales porcinas y su tratamiento por diferentes procesos en México. Rev. Int. Contam. Ambie. 30 (1) 65-79, 2014. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua México.

- Golusin, M., Ostojic, A., Latinovic, S., Jandric M., and Ivanovic, O. M. (2012). Review of the economic viability of investing and exploiting biogas electricity plant- Case study Vizelj, Serbia. *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 16: 1127-1134.
- Jaramillo, A. C., Echavarría, A. M., & Hormaza, A. (2013). Diseño Box-Behnken para la optimización de la adsorción del colorante azul ácido sobre residuos de flores. *Ingeniería y Ciencia*, 9(18), 75–91. <https://doi.org/10.17230/ingciecia.9.18.4>
- Matter, J. M., Costa, L. A., Pereira, D. C., Varennes, A., & Tessaro, D. (2017). Co-digestión anaerobica de desechos de criaderos y aguas residuales para producir energía y biofertilizante -Fase de Lote. *Revista Brasileira de Engenharia Ambiental*, 21(9).
- Metcalf & Eddy, (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización*. 3ª ed. Mc Graw-Hill, Madrid.
- Pérez H., W., y Torres, Q., W. R. (2019). Optimización de parámetros en la purificación del agua a base de biopolímeros orgánicos de goma de tara (*Caesalpinia Spinosa*) y moringa (*Moringa Oleífera*). Tesis presentada para optar el Título Profesional. Universidad Peruana Unión. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Escuela Profesional De Ingeniería Ambiental
- Ramon, J. A., Romero, L. F., y Simanca, J. L. (2006). Diseño de un biodigestor de canecas en serie para obtener gas metano y fertilizantes a partir de la fermentación de excrementos de cerdo. *Revista ambiental agua, aire y suelo*, 9.
- Soria, F., M. D. Ferrera, C. R., Etchevers, B. J., Alcántar, G., G., Trinidad, S., J., Borges, G., L., y Pereyda, P. G. (2001). Producción de biofertilizante mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. *Terra Latinoamericana*, 11.
- Soo, B., Manikam, N., Lee, Sin, Tiam, T., and Rahmat A.R. (2013). Investigation of Biogas Production and its Residue with Fertilization Effect from Municipal Waste. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. Volume 16 (20): 1104-1112, 2013.

Vera, R. I., Estrada, J. M., Martínez, R. J., y Ortiz, S. A. (2017). Potencial de generación de biogás y energía eléctrica parte I: Excretas de ganado bovino y porcino. *Ingeniería de Investigación y Tecnología*, XV (3), 8.

Ward, A. J., Hobbs, P. J., Holliman P. J., and Jones, D. L. (2008). Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. *Bioresour. Technol.*, 99: 7928-7940.

DEDICATORIA

A mi madre por brindarme su confianza y apoyo incondicional para lograr cada objetivo en mi desarrollo personal y profesional en mi vida

Eliana

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida y guiar mi caminar por el sendero de la vida.

A mis padres y hermanos por su apoyo incondicional durante mi etapa de realización profesional, por enseñarme que todos los ciclos deben cerrarse y nuevos caminos deben emprenderse en este corto respiro que es la vida.

A mi Asesor Dr. Juan Manuel Garay Román, y a los docentes de la Universidad Nacional de Jaén, por la orientación y tiempo dedicados en la ejecución del presente trabajo de investigación.

A mis profesores de la Carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional de Jaén.

A dueño de la granja del C.P. Tamborapa, don Pedro Jimenez Godos, por permitirme las instalaciones de su granja de cerdos, para la presente investigación.

Eliana

ANEXOS

Procedimiento de datos del software Stargraphics

Analizar Experimento - Biogás

Nombre del archivo: Biometanización de la materia orgánica de descargas residuales porcinas en el c.p. Ambato Tamborapa, distrito de bellavista.

Tabla 20. Efectos estimados para Biogás (ml.)

Efecto	Estimado	Error Estd.	V.I.F.
promedio	240.0	36.2802	
A:Agua residual	78.75	44.4339	1.0
B:Estiércol	-6.25	44.4339	1.0
C:Pulpa	-40.0	44.4339	1.0
AA	125.0	65.405	1.01111
AB	35.0	62.8391	1.0
AC	67.5	62.8391	1.0
BB	-20.0	65.405	1.01111
BC	-32.5	62.8391	1.0
CC	82.5	65.405	1.01111

Fuente: Errores estándar basados en el error total con 5 g.l.

El StatAdvisor

Esta tabla 20 muestra las estimaciones para cada uno de los efectos estimados y las interacciones. También se muestra el error estándar de cada uno de estos efectos, el cual mide su error de muestreo. Note también que el factor de inflación de varianza (V.I.F.) más grande, es igual a 1.01111. Para un diseño perfectamente ortogonal, todos los factores serían igual a 1. Factores de 10 o más normalmente se interpretan como indicativos de confusión seria entre los efectos.

Para graficar los estimados en orden decreciente de importancia, seleccione Diagrama de Pareto de la lista de Opciones Gráficas. Para probar la significancia estadística de los efectos, seleccione Tabla ANOVA de la lista de Opciones Tabulares. Puede retirar efectos significativos pulsando el botón secundario del ratón, seleccionando Opciones de Análisis, y pulsando el botón de Excluir.

Tabla 21. Análisis de varianza para biogás.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Agua residual	1 2403.1	1	1 2403.1	3.14	0.1365
B:Estiércol	78.125	1	78.125	0.02	0.8936
C:Pulpa	3200.0	1	3 200.0	0.81	0.4093
AA	1 4423.1	1	1 4423.1	3.65	0.1142
AB	1 225.0	1	1 225.0	0.31	0.6016
AC	4 556.25	1	4 556.25	1.15	0.3318
BB	369.231	1	369.231	0.09	0.7721
BC	1 056.25	1	1 056.25	0.27	0.6271
CC	6 282.69	1	6 282.69	1.59	0.2628
Error total	1 9743.8	5	3 948.75		
Total (corr.)	6 2750.0	14			

$R^2 = 68.5359 \%$

R^2 (ajustada por g.l.) = 11.9004 %

Error estándar del est. = 62.8391

Error absoluto medio = 28.5

Estadístico Durbin-Watson = 2.34611 (P=0.5362)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.292755

El StatAdvisor

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Biogás en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 0 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

El estadístico R-Cuadrada indica que el modelo, así ajustado, explica 68.5359% de la variabilidad en Biogás. El estadístico R-cuadrada ajustada, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 11.9004%. El error estándar del estimado muestra que la desviación estándar de los residuos es 62.8391. El

error medio absoluto (MAE) de 28.5 es el valor promedio de los residuos. El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si haya alguna correlación significativa basada en el orden en que se presentan los datos en el archivo. Puesto que el valor-P es mayor que 5.0%, no hay indicación de autocorrelación serial en los residuos con un nivel de significancia del 5.0%.

Tabla 22. Coeficiente de regresión para Biogás

Coeficiente	Estimado
constante	518.437
A:Agua residual	-0.119687
B:Estiércol	0.0754167
C:Pulpa	-4.68333
AA	0.000015625
AB	0.0000175
AC	0.00045
BB	-0.00004
BC	-0.000866667
CC	0.0293333

El StatAdvisor

Esta ventana despliega la ecuación de regresión que se ha ajustado a los datos. La ecuación del modelo ajustado es

$$\text{Biogás} = 518.437 - 0.119687 * \text{Agua residual} + 0.0754167 * \text{Estiércol} - 4.68333 * \text{Pulpa} + 0.000015625 * \text{Agua residual}^2 + 0.0000175 * \text{Agua residual} * \text{Estiércol} + 0.00045 * \text{Agua residual} * \text{Pulpa} - 0.00004 * \text{Estiércol}^2 - 0.000866667 * \text{Estiércol} * \text{Pulpa} + 0.0293333 * \text{Pulpa}^2$$

en donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales. Para hacer que STATGRAPHICS evalúe esta función, seleccione Predicciones de la lista de Opciones Tabulares. Para graficar la función, seleccione Gráficas de Respuesta de la lista de Opciones Gráficas.

Tabla 23. Matriz de Correlación para los Efectos Estimados

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
(1) promedio	1.0000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	-	0.000	-
		0	0	0	0.5547	0	0	0.5547	0	0.5547
(2) A:Agua residual	0.0000	1.000	0.000	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.0000	0.000	0.0000
		0	0	0		0	0		0	
(3) B:Estiércol	0.0000	0.000	1.000	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.0000	0.000	0.0000
		0	0	0		0	0		0	
(4) C:Pulpa	0.0000	0.000	0.000	1.000	0.0000	0.000	0.000	0.0000	0.000	0.0000
		0	0	0		0	0		0	
(5) AA	-	0.000	0.000	0.000	1.0000	0.000	0.000	0.0769	0.000	0.0769
	0.5547	0	0	0		0	0		0	
(6) AB	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.0000	1.000	0.000	0.0000	0.000	0.0000
		0	0	0		0	0		0	
(7) AC	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.000	1.000	0.0000	0.000	0.0000
		0	0	0		0	0		0	
(8) BB	-	0.000	0.000	0.000	0.0769	0.000	0.000	1.0000	0.000	0.0769
	0.5547	0	0	0		0	0		0	
(9) BC	0.0000	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.0000	1.000	0.0000
		0	0	0		0	0		0	
(10) CC	-	0.000	0.000	0.000	0.0769	0.000	0.000	0.0769	0.000	1.0000
	0.5547	0	0	0		0	0		0	

Tabla 24. Resultados Estimados para Biogás

	Observados	Ajustados	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Fila	Valores	Valores	para Media	para Media
1	205.0	273.75	133.858	413.642
2	325.0	317.5	177.608	457.392
3	225.0	232.5	92.6079	372.392
4	415.0	346.25	206.358	486.142
5	405.0	358.125	218.233	498.017
6	340.0	369.375	229.483	509.267
7	280.0	250.625	110.733	390.517
8	350.0	396.875	256.983	536.767
9	300.0	278.125	138.233	418.017
10	265.0	304.375	164.483	444.267
11	310.0	270.625	130.733	410.517
12	210.0	231.875	91.9829	371.767
13	240.0	240.0	146.739	333.261
14	240.0	240.0	146.739	333.261
15	240.0	240.0	146.739	333.261

Fuente: Diagrama de Pareto

El StatAdvisor

Esta tabla contiene información acerca de los valores de Biogás generados usando el modelo ajustado. La tabla incluye:

- (1) los valores observados de Biogás (si alguno)
- (2) el valor predicho de Biogás usando el modelo ajustado
- (3) intervalos de confianza del 95.0% para la respuesta media

Cada ítem corresponde a los valores de los factores experimentales en una fila específica de su archivo de datos. Para generar pronósticos para las combinaciones adicionales de los factores, agregue filas al final su archivo de datos. En cada nueva fila, introduzca valores para los factores experimentales pero deje vacía la celda para la respuesta. Cuando regrese

a esta ventana, se habrán agregado pronósticos a la tabla para las nuevas filas pero el modelo no se verá afectado.

Tabla 25. Camino de Máximo Ascenso para Biogás

Agua residual (ml)	Estiércol (gr)	Pulpa (gr)	Predicción para Biogás (ml)
3 000.0	1 000.0	62.5	240.0
3 001.0	999.98	62.4905	240.025
3 002.0	999.961	62.481	240.05
3 003.0	999.941	62.4715	240.075
3 004.0	999.922	62.462	240.1
3 005.0	999.902	62.4525	240.125

El StatAdvisor

Esta ventana despliega el trayecto de máximo ascenso (o descenso). Este es el trayecto, desde el centro de la región experimental actual, a través del cual la respuesta estimada cambia más rápidamente con un cambio menor en los factores experimentales. Indica buenas características para ejecutar experimentos adicionales si el objetivo es incrementar o decrementar Biogás. Actualmente, 6 puntos se han generado cambiando Agua residual en incrementos de 1.0 ml. Puede especificarse la cantidad de cambio en cualquiera de los factores presionando el botón secundario del ratón y seleccionando Opciones de Ventana. STATGRAPHICS determinará entonces cuanto tendrán que cambiar los otros factores para mantenerse en el trayecto del máximo ascenso. El programa también calcula la Biogás estimada en cada uno de los puntos del trayecto, con los cuales pueden compararse los resultados si es que se corren esos ensayos.

Optimizar Respuesta

Meta: maximizar Biogás

Valor óptimo = 396.963 cm³ Biogás

Tabla 26. Valores Optimos para la Biometanización

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Agua residual	1 000.0	5 000.0	5 000.0
Estiércol	500.0	1500.0	952.97
Pulpa	25.0	100.0	100.0

Fuente: Valores de optimización

En la tabla 19 muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza Biogás sobre la región indicada. Use el cuadro de diálogo de Opciones de Ventana para indicar la región sobre la cual se llevará a cabo la optimización. Puede establecer el valor de uno o más factores a una constante, estableciendo los límites alto y bajo en ese valor.

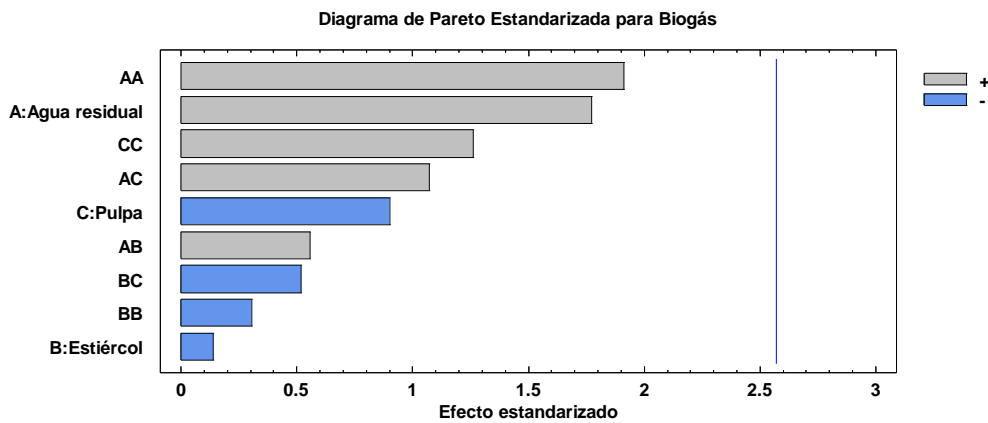


Figura 21. Diagrama estandarizado de biogás

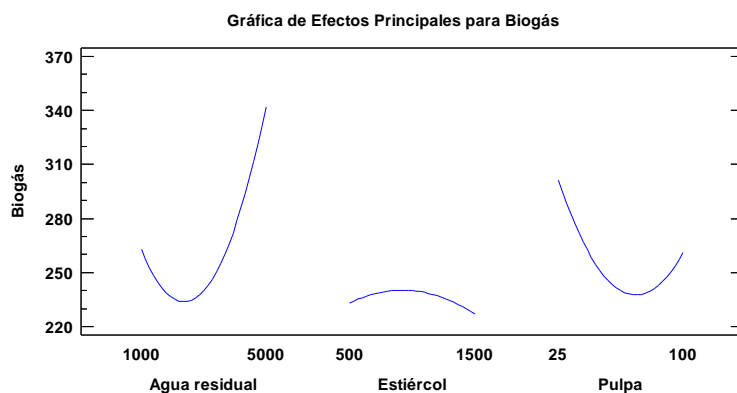


Figura 22. Efecto principal de biogás

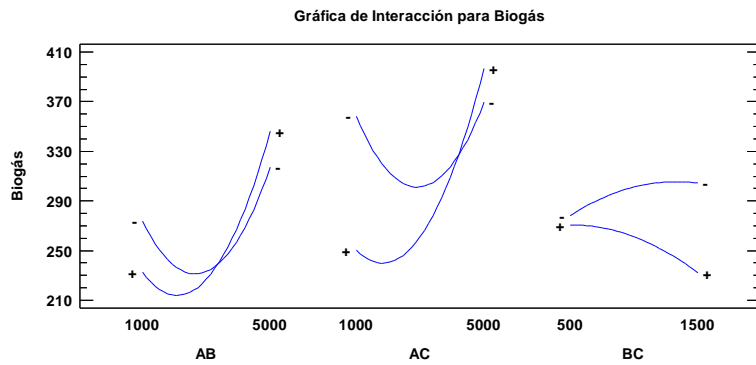


Figura 23. Gráfica de interacción para biogás

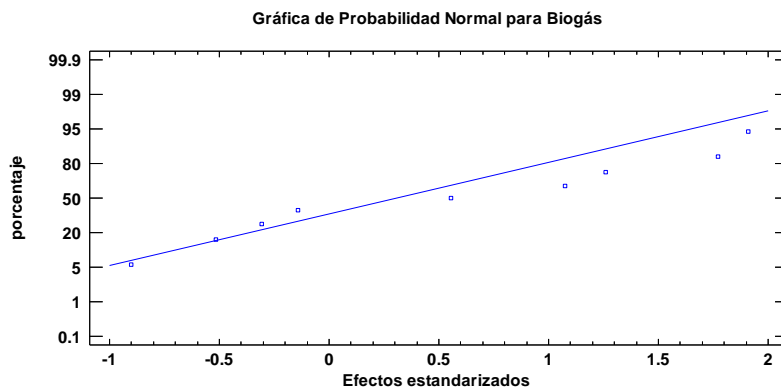


Figura 24. Gráfica de probabilidad normal para biogás

Como resultado se obtuvo el diagrama de que nos permite ver la distribución conjunta de ambas variables para la producción de biogás y por lo tanto la su relación lineal en la que al aumentar el contenido de materia habrá mas producción de biogás.

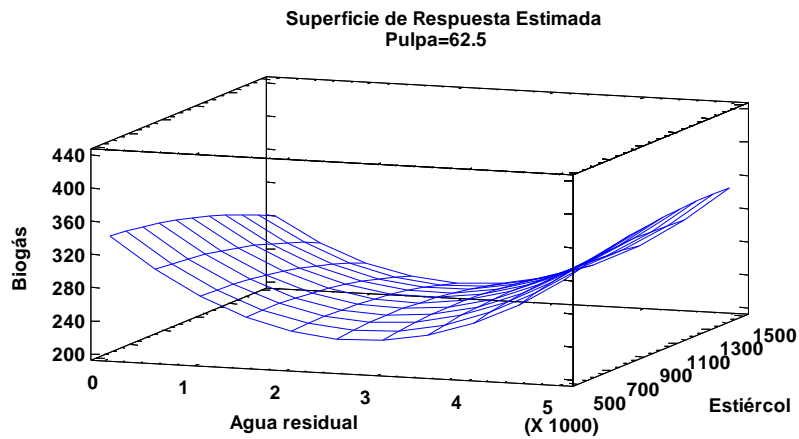


Figura 25. Gráfica de respuesta estimada

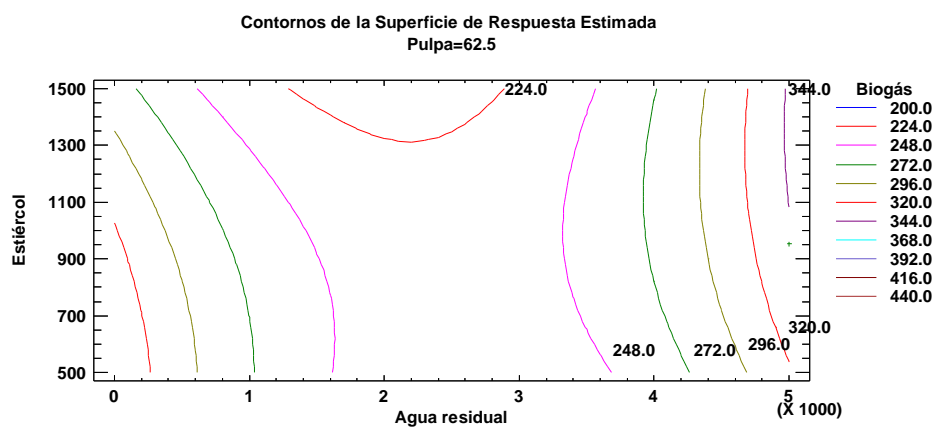


Figura 26. Contornos de la superficie de respuesta estimada.



INFORME DE ENSAYO N° 364 -2019-RIVELAB/FQ

I INFORMACIÓN GENERAL

Solicitante: Neidy Eliana Alberca Risco

Análisis solicitado: Químico NPK

Tipo de muestra: Líquido

Presentación: 2 botellas selladas

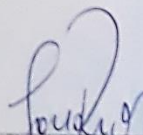
Procedencia: Residuos granjas de cerdos-Tamborapa

Fecha recepción: 10/10/2019; 4:55 pm.

II RESULTADOS

Análisis químico:	% en peso
Agua	85
Materia orgánica	7
Carbono orgánico	4.5
Minerales	2.87
Nitrógeno total Kjeldahl	0.25
Fósforo (P ₂ O ₅)	0.13
Potasio (K ₂ O)	0.25

Trujillo, 17 de Octubre del 2019


JOSE RIVERO MENDEZ
Ingeniero Químico- Perito Químico
R. CIP. 20384



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - CAL - ACEITE

Jr. Pizarro N° 137 - Oficina N° 108
Trujillo - Perú

rivelabperu@hotmail.com
jose_rivero84@hotmail.com

Cel: 971 863940
RPM: #0418011
Fijo: 044 346297

Figura 27. Análisis de laboratorio



INFORME DE ENSAYO N° 381-2019-RIVELABTO

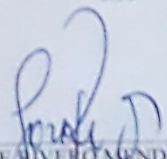
I INFORMACIÓN GENERAL

Solicitante: Neidy Eliana Alberca Risco
Análisis solicitado: Químico NPK y gaseoso
Tipo de muestra: Líquido-sólido-gaseoso
Presentación: 6 botellas selladas
Procedencia: Jaén-Cajamarca
Fecha recepción: 7/11/2019, 4:15 pm

II RESULTADOS

	% en peso
Líquido orgánico	
Nitrógeno total Kjeldahl	4.4
Fósforo (P_2O_5)	3.2
Potasio (K_2O)	2.4
Sólidos orgánicos	
Nitrógeno total Kjeldahl	2.7
Fósforo (P_2O_5)	1.9
Potasio (K_2O)	1.6
Análisis de gases	% en volumen
Metano [CH_4]	59.0
Dióxido de carbono [CO_2]	40.0
Nitrógeno [N_2]	0.64
Sulfuro de hidrógeno [H_2S]	0.08
Hidrógeno [H_2]	0.12
Otros	0.16

Trujillo, 14 de noviembre del 2019


JOSE RIVERO MENDEZ
Ingeniero Químico- Perito Químico
R. CIP 20384



AGUAS

SUELOS

ALIMENTOS

MINERALES

CAL

ACEITE

Jr. Pizarro N° 137 - Oficina N° 108
Trujillo - Perú

rivelabperu@hotmail.com
jose_rivero84@hotmail.com

Cel. 971 863940
EPM #0418011
Fijo 044 346297

Figura 28. Análisis de laboratorio