



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Producción de biogás a partir de sustratos agropecuarios, mediante
la co - digestión anaeróbica a nivel laboratorio, Lima 2019**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE

Ingeniero Ambiental

AUTOR:

Jacobo Ubierna Erick Ricardo (orcid.org/0000-0003-3070-3551)

ASESOR:

Mg. Cabello Torres Rita Jaqueline (orcid.org/0000-0002-9965-9678)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos Sólidos

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo Sostenible y Adaptación al Cambio Climático

LIMA — PERÚ

2019

DEDICATORIA

A la vida

Atte. Erick Ricardo Jacobo Ubierna

AGRADECIMIENTO

A mi abuela

Atte. Erick Ricardo Jacobo Ubierna



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

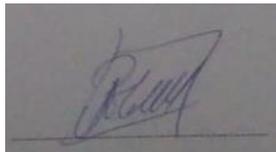
Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, RITA JAQUELINE CABELLO TORRES, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA y Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO, asesor del Trabajo de mi tesis titulado: "PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE SUSTRATOS AGROPECUARIOS, MEDIANTE LA CO - DIGESTIÓN ANAERÓBICA A NIVEL LABORATORIO, LIMA 2019", constato que la investigación cumple con el índice de similitud de 7%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender el trabajo de investigación / tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

San Juan de Lurigancho, 09 de diciembre del 2019

Apellidos y Nombres del Asesor: Rita Jaqueline Cabello Torres	
DNI 08947396	Firma 
ORCID 0000-0002-9965-9678	



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL**

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, JACOBO UBIERNA ERICK RICARDO, egresado de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA y Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la Universidad César Vallejo, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan a mi tesis titulado: "PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE SUSTRATOS AGROPECUARIOS, MEDIANTE LA CO - DIGESTIÓN ANAERÓBICA A NIVEL LABORATORIO, LIMA 2019", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiado ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicado ni presentado anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Lima, 09 de diciembre del 2019.

Apellidos y Nombres del Autor Jacobó Ubierna, Erick Ricardo		
DNI	47655530	FIRMA 
ORCID	0000-0003-3070-3551	

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
Declaratoria de Autenticidad del Asesor	iv
Declaratoria de Originalidad del Autor	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	11
3.1 Tipo y diseño de investigación	11
3.2 Variables y operacionalización	12
3.3 Población, muestra, muestreo, unidad de analisis	12
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	16
3.5 Procedimiento	19
3.6 Método de análisis de datos	24
3.7 Aspectos éticos	24
IV. RESULTADOS	25
V. DISCUSIÓN	34
VI. CONCLUSIONES	36
VII. RECOMENDACIONES	37

REFERENCIAS	38
ANEXOS	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variable	12
Tabla 2. Parámetros para la caracterización de sustratos agropecuarios e inóculo ..	16
Tabla 3. Parámetros para la evaluación de pre tratamiento a la paja de arroz.....	17
Tabla 4. Validez de equipos utilizados.....	18
Tabla 5. diagrama de procedimiento.....	20
Tabla 6. Dosis establecidas para la co - digestión y mono digestión anaeróbica	23
Tabla 7. caracterización fisicoquímica del estiércol de ovino y la paja de arroz	25
Tabla 8. caracterización fisicoquímica del inóculo	25
Tabla 9. Caracterización fisicoquímica de la paja de arroz pretratada (PAT)	25
Tabla 10. Pretratamiento alcalino de la paja de arroz.....	26
Tabla 11. Test ANOVA	28
Tabla 12. Agrupación de tratamientos, según similitud de resultados lignina.....	29
Tabla 13. Agrupación de tratamientos según similitud de resultados, Holocelulosa..	29
Tabla 14. Agrupación de tratamientos, según similitud Celulosa.....	30
Tabla 15. Prueba de normalidad Shapiro Wilk.....	30
Tabla 16. Prueba de Krukal - Wallis.....	31
Tabla 17. Pruebas de rangos de Kruskal – Wallis	32
Tabla 18. DOSIS EO 100% mod. Gompertz, mod. Logístico y el mod. Exponencial.	32
Tabla 19. DOSIS 30% EO / 70% PAT mod. Gompertz, mod. logístico y el mod. Exponencial.....	33
Tabla 20. DOSIS 50% EO/50% PAT mor. Gompertz, mod. Logístico y el mod. Exponencial.....	33
Tabla 21. DOSIS 70% PAT/30%EO mod. Gompertz, mod. Logístico y el mod. Exponencial	33
Tabla 22. DOSIS PAST 100% mod. Gompertz, mod. Logístico y el mod. Exponencial	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de digestión anaeróbica esquematizado, adaptado de Morae et al. 2015	4
Figura 2. Recipiente para ensayo de biodegradabilidad anaeróbica, adaptado de Angelidaki, 2009.....	8
Figura 3. Toma de muestras de estiércol de ovino.....	15
Figura 4. Toma de muestra de paja de arroz	15
Figura 5. Toma de muestra de inóculo	15
Figura 6. Sistema Bach esquematizado	17
Figura 7. Ensayo de AME.....	21
Figura 8. Tratamiento físico a la paja de arroz	22
Figura 9. Tratamiento alcalino a la paja de arroz	22
Figura 10. Ensayo de PBM.....	24
Figura 11. Actividad metanogénica específica, elaboración propia	26
Figura 12. Co - digestión anaeróbica, elaboración propia	27
Figura 13. Mono digestión anaeróbica, elaboración propia	27
Figura 14. Sólidos totales y sólidos volátiles	46
Figura 15. Potencial de hidrógeno.....	47
Figura 16. Preparación de muestras para componentes lignocelulósicos.....	48
Figura 17. Procedimiento para determinación de lignin.....	49
Figura 18. Procedimiento para determinación de holocelulosa	50
Figura 19. Procedimiento para determinación de celulosa.....	51

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivos determinar la dosis óptima de sustratos agropecuarios (estiércol de ovino y paja de arroz) para la producción de biogás, evaluar el efecto del pretratamiento alcalino en la paja de arroz y determinar el modelo más adecuado para predecir la producción de biogás empleando sustratos agropecuarios. La investigación es de tipo aplicada con enfoque cuantitativo y diseño experimental.

Se realizó un pretratamiento alcalino con NaOH, se evaluaron dos dosis, al 8% y 10%, siendo la dosis al 10% la que presentó mayor eficiencia en la reducción de lignina, holocelulosa, celulosa y hemicelulosa con un 17.03%, 20.97%, 12.61% y 8.36% respectivamente. Se llevó a cabo ensayos de potencial bioquímico de metano a temperatura mesofílica. El gas se determinó por el volumen de agua desplazada, se estudiaron 5 dosis: 100 % EO; 50% EO/ 50% PAT; 70% EO /30% PAT; 70% PAT /30% EO y 100 % PAT. La dosis 50% EO/ 50% PAT es la que presentó mayor eficiencia con una producción máxima de biogás de 1801.5 ml CH₄. El modelo logístico para la dosis 30 % EO con 70% PAT presentó el R² más alto con un 93.4 % de variabilidad del volumen de biogás.

Palabras clave: Producción de biogás, co – digestión anaeróbica (co-DA), paja de arroz (PA), estiércol de ovino (EO)

ABSTRACT

The objectives of this research are to determine the optimal dose of agricultural substrates (sheep manure and rice straw) for the production of biogas, evaluate the effect of alkaline pretreatment on rice straw and determine the most appropriate model to predict the production of biogas using agricultural substrates. The research is applied with a quantitative approach and experimental design.

An alkaline pretreatment with NaOH was carried out, two doses were evaluated, 8% and 10%, with the 10% dose being the one that presented the greatest efficiency in the reduction of lignin, holocellulose, cellulose and hemicellulose with 17.03%, 20.97%, 12.61% and 8.36% respectively. Biochemical potential tests of methane were carried out at mesophilic temperatures. The gas was determined by the volume of water displaced, 5 doses of 100% EO were studied; 50% EO/ 50% PAT; 70% EO /30% PAT; 70% PAT /30% EO and 100% PAST. The 50% EO/50% PAT dose is the one that presented the greatest efficiency with a maximum biogas production of 1801.5 ml CH₄. The logistic model for the 30% EO dose with 70% PAT presented the highest R² with 93.4% variability of the biogas volume.

Keywords: Biogas production, co – anaerobic digestion (co-DA), rice straw (PA), sheep manure (EO).

I. INTRODUCCIÓN

Fuente de energía generadas de combustibles fósiles, en gran medida, es causante de diversos fenómenos tales como las sequias, inundaciones u olas de calor entre otros, en diversas partes del mundo. Ante dicha situación se requiere de la aplicación de procesos que permitan generar energía renovable, la cual conlleva a reducir el dispendio energético convencional (NATIONAL GEOGRAPHIC, 2022, párr. 1 - 9). En la actualidad, es el uso de residuos sólidos, mediante la generación de gases por descomposición anaeróbica (Aguilar, Armijo y Taboada, 2009, p. 59) se presenta como una alternativa ante dicha problemática.

Respecto a la generación de biogás, es importante definirla como una mezcla de gases conformado por dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), vapor de agua y elementos trazas en diferentes concentraciones, siendo el metano el más importante de estos por su alto valor calorífico, por eso se requiere producirlo en mayor concentración a los demás componentes. (FNR, 2010, p. 31).

El Perú se ubica entre los principales productores de arroz cáscara en América Latina, según MINAGRI hasta abril del 2019, se obtuvo 408 790 toneladas de arroz cáscara provenientes de los molinos, de las cuales Arequipa ocupó la cuarta posición (14.2%), con una producción de 58253 toneladas (2019, p. 5). De otro lado, la población pecuaria ovina ascendió en 11 338 424 (1.2 % a nivel nacional, 2017), generando ingresos de 407 700 000 nuevos soles haciendo que la región Arequipa ocupe la décimo quinta posición, con una población de 187 138 ovinos (Lobato, 2018, p. 10 - 13).

Por lo expuesto, las actividades agropecuarias, a pesar de las condiciones climatológicas y metodologías aplicadas para la siembra y crianza de animales no han detenido su producción tanto en el arroz como en el ovino, esta actividad no ha ido de la mano con el manejo y gestión de subproductos que se generan en dicha actividad incluyendo al finalizar el periodo del cultivo de arroz lo cual deriva en la paja de arroz. El estiércol es otro residuo generado por las actividades pecuarias en las que existen aún acciones

mínimas para reducir o revalorizar dichos residuos agropecuarios conllevando a problemas ambientales

En cuanto a la paja de arroz, esta se suele incinerar, en el año 2016, la acumulación y quema clandestina de residuos sólidos y rastrojos, fue la actividad con mayor frecuencia (56.9%), conllevando problemas ambientales y afectando a la población aledaña (INEI, 2016, p. 138). Al respecto, según el INIA, la quema de residuos orgánicos, como el arroz, deja al suelo desnudo exponiéndolo a ser erosionado y culmina degradando el recurso, a su vez se emiten a la atmósfera, material particulado y elevadas concentraciones de gases nocivos para la atmosfera. Asimismo, según el INIA la quema perjudica tanto a los macroorganismos como microorganismos presentes en el área incinerada, se reduce la materia orgánica y con ella se generan bajos niveles de nutrientes (2015, p.13), lo que obliga al uso fertilizantes químicos, desestabilizando los suelos. Según la agencia agraria de noticias se estimó para el 2018 un incremento de 200.5 millones de toneladas de fertilizantes en todo el mundo, frente al periodo del 2008 de tal manera que el nitrógeno, fosfato y potasio incrementarían en un 1.4 %, 2.2% y 2.6 % respectivamente (2015, párr. 1 – 4).

Al igual que la paja de arroz el estiércol, si es que no se tiene un control en el almacenamiento, transporte, en su reutilización o disposición final, puede conllevar a impactos ambientales negativos. El agua es contaminada por heces ganaderas mediante escurrimiento, infiltraciones o escorrentías, a su vez, el suelo puede verse afectado debido a la sobre carga de nutrientes alterando la capacidad de captación de los cultivos, finalmente, producto de la descomposición se emiten a la atmosfera, elevadas concentraciones de amonio, metano y óxido nitroso (Pinos et al, 2012, pp. 362 – 364).

Ante dicha situación, es importante incentivar proyectos que permitan darle un manejo sostenible a los subproductos que se generan de dichas actividades, tales como la generación de energía no convencional. De acuerdo al artículo 67 del D.S N° 014 – 2017 - MINAM, se reconoce a la biodegradación, entre otras operaciones, como un proceso que permite aprovechar el potencial energético de los residuos (pp. 27 - 28), en el país se cuenta con un sistema eléctrico interconectado nacional (SEIN) que genera 80 MW

producida a partir de la biomasa residual (MINAM, 2016, p. 54) pero aún se requieren más obras para incrementar la diversidad de fuentes de energía renovable.

Camaná, en la actualidad no ejecuta proyectos que gestionen de manera rentable los residuos generados en las actividades agropecuarias, ante dicha situación se plantea como problema general ¿Qué mezcla de sustratos agropecuarios influye para obtener mayor producción de biogás, mediante la co - digestión anaeróbica, Lima 2019? A partir del problema general se plantea como problemas específicos ¿El pretratamiento alcalino con hidróxido de sodio al 10% influye en los componentes lignocelulósicos de la paja de arroz para la producción de biogás mediante la co – digestión anaeróbica?; ¿Cuál será el modelo más adecuado para predecir la producción de biogás empleando sustratos agropecuarios mediante la co – digestión anaeróbica?

Basado en los problemas generales y específicos se plantea la hipótesis general. La mezcla más adecuada de sustratos agropecuarios que se debe emplear para la producción de biogás mediante la co - digestión anaeróbica es 50 % de paja de arroz tratada (PAT) con 50 % estiércol de ovino (EO). De dicha hipótesis se propuso las hipótesis específicas. El pretratamiento alcalino con hidróxido de sodio al 10% influye en los componentes lignocelulósicos de la paja de arroz para la producción de biogás mediante la co – digestión anaeróbica; el modelo Logístico es el que mejor predice la producción de biogás empleando sustratos agropecuarios mediante la co – digestión anaeróbica

De acuerdo a la hipótesis se plantea como objetivo general, determinar la dosis óptima de sustratos agropecuarios para la producción de biogás mediante la co - digestión anaeróbica, Lima 2019, y como objetivos específicos. Evaluar el efecto del pretratamiento alcalino en la paja de arroz para la producción de biogás, mediante la co – digestión anaeróbica; Determinar el modelo más adecuado para predecir la producción de biogás empleando sustratos agropecuarios.

II. MARCO TEÓRICO

Generalmente el biogás se genera por residuos orgánicos, en un proceso anaeróbico, se descomponen parte de los materiales orgánicos presentes considerados como sustratos, en este proceso actúan un conjunto de bacterias anaerobias muy sensibles, que pueden resultar completamente inhibidas cuando hay presencia de oxígeno (Varnero, 2011, p.14). En esta práctica se suele considerar tres fases para la digestión de residuos sólidos, sin embargo, en los últimos años se viene utilizando, un modelo denominado “ADM 1” (ver figura. 1), desarrollado por la Asociación internacional del Agua (IWA), dicho modelo considera cuatro fases (Parra, 2015, p. 144) para un proceso general.

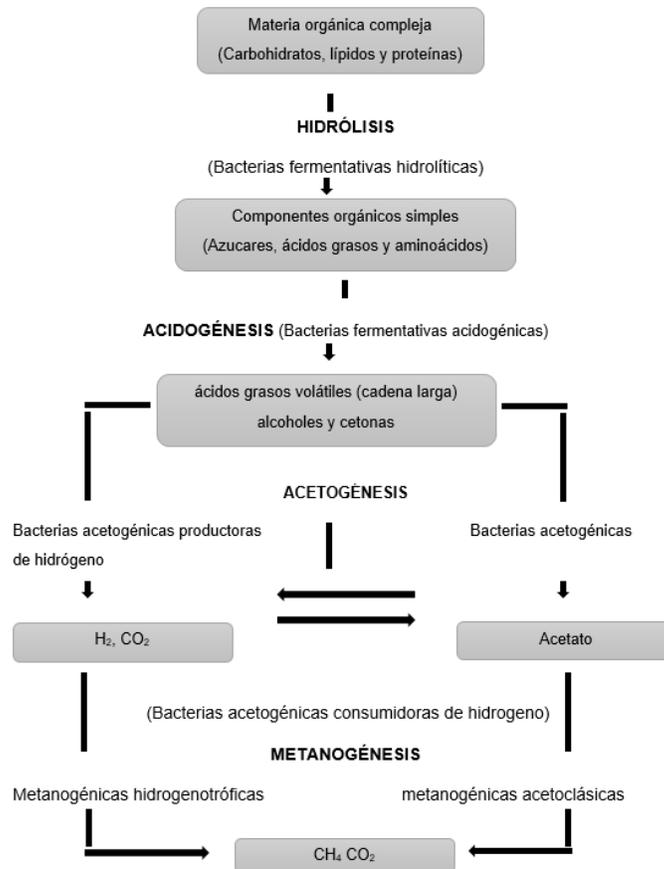


Figura 1. Proceso de digestión anaeróbica esquematizado, adaptado de Morae et al. 2015

En la primera fase denominada hidrólisis, son los microorganismos anaerobios tanto estrictos (*Clostridium*, *Bacteroides*), como facultativos (*Streptococci*), la cual transforman los compuestos de gran masa molecular como lípidos, grasas, proteínas entre otros, obteniendo compuestos solubles de cadena corta. (Parra, 2015, pp. 144 – 145).

Los productos generados en la hidrólisis, se dividen durante la etapa de acidificación, debido a la presencia de bacterias fermentadoras, las cuales forman ácidos grasos más pequeños, tales como ácido acético, propiónico o butírico, además también se genera hidrógeno (H_2) y dióxido de carbono (CO_2) (Reyes, 2017, p. 68). Si bien en la segunda etapa (acidificación) se forma hidrógeno molecular y acetato, estos son luego asimilados por los microorganismos metanogénicos, sin embargo, existe además otros compuestos como butirato o propionato, que requieren ser transformación en hidrógeno y acetato para luego lograr su metanización, en esta etapa la acción de bacterias acetogénicas es requerida. Durante la acetogénesis, los principales productos que se genera son los ácidos grasos volátiles (AGV), estos degradan compuestos como los alcoholes, ácido propiónico, láctico, etc. (Reyes, 2017, p.69).

En la fase metanogénica, se produce el dióxido de carbono y el metano, a partir de microorganismos metanogénicos. El metano generado del acetato, dióxido de carbono e hidrogeno, son producidos por dos tipos de bacterias: las acetotróficas generando el 70 % de biogás en la DA a partir del acetato y las hidrogenotróficas utilizando como sustrato al CO_2 e H_2 (Parra, 2015, p. 145).

En la digestión anaeróbica se debe tener en cuenta ciertos parámetros operacionales tales como la temperatura, ante ello son los microorganismos metanogénicos los más sensibles ya que su desarrollo es más lento en comparación con otros grupos microbianos que intervienen en el proceso anaeróbico. Cuando la temperatura incrementa en pocos grados la biodigestión anaeróbica no se ve afectada; no obstante, un decrecimiento puede conllevar a una baja producción de metano, sin embargo, las bacterias acidificantes no se verían afectadas, por el contrario, incrementarían la producción de ácidos (Reyes, 2017, p.70).

Asimismo, es importante considerar la capacidad de retención hidráulica durante el tiempo, ya que está relacionado con el rango de temperatura con la que se lleva a cabo

el proceso. A altas temperaturas (43 °C a 55°C) menor será el tiempo de retención (15 a 20 días), por el contrario, a menor temperatura (< 20 °C) mayor será el tiempo en que se mantenga el sustrato en el digestor (70 a 80 días) (Al Seadi, 2008, p. 23).

Con respecto al pH si es inferior a 6 en el digestor se producirá biogás con bajo contenido de metano y por ende inferiores cualidades energéticas, así las bacterias acidogénicas, son menos susceptibles a valores extremos de pH, mientras que las metanogénicas, se requiere un pH más cercano al neutro, ya que valores bajos reducen su actividad, lo que conlleva a un incremento de ácidos grasos volátiles disminuyendo la producción de biogás. Asimismo, si se emplean una mezcla de sustratos, el pH no debe ser mayor a 8 ni menor a 6 (Varnero, 2011, p. 43), en la práctica, cuando se presenta una ligera acidificación, este puede ser regulada, mediante la adición de una base (NaOH, Ca (OH)₂) (Wellinger, Murphy y Baxter, 2013, p. 61).

Otro parámetro a considerar es la relación carbono / nitrógeno, ya que el carbono es la principal fuente energética de la población metanogénica que interviene en el proceso, asimismo el nitrógeno es un elemento fundamental para la conformación de nuevas células, una relación óptima de estos dos elementos en los sustratos es considerado optimo en un rango de 20:1 – 30:1 (Wellinger, Murphy y Baxter, 2013, p. 34).

En la actualidad se viene tratando diversos residuos cuyo fin es generar energía, la paja de arroz, está considerada como una de las materias orgánicas no aptas para ser biodegradadas ello debido a la composición de este residuo, la cual está conformada por un polímero de hemicelulosa, lignina y celulosa (Contreras, 2013, p.25).

Ante dicha situación la co – digestión anaeróbica es una vía económicamente factible para el manejo de subproductos lignocelulósicos, al co – digerirlo con otros sustratos (Wellinger, Murphy y Baxter, 2013, p. 23), un candidato es el estiércol, en este caso de oveja cuya características bioquímica deben permitir un eficiente funcionamiento de los digestores basados en el desarrollo y actividades microbianas dependientes del equilibrio de las sales minerales (Varnero, 2011, pp. 14 - 29), dichas características dependerán de la raza de la oveja, su dieta y periodo del año (Reyes, 2017, p. 65).

Asimismo, con el fin obtener una mayor eficiencia en proceso anaeróbico y acelerar la velocidad de degradación sin de dejar de lograr el buen rendimiento de biogás se vienen desarrollando diversas tecnologías de pre tratamiento, permitiendo que la biomasa lignocelulósica sea más disponible para la degradación. La tecnología de pre tratamiento se puede dividir en base a los principios físicos, químicos y bioquímicos, no obstante, también se utilizan combinaciones de estos (Wellinger, Murphy y Baxter, 2013, p. 88).

El pre tratamiento mecánico, aumenta el área específica de la materia prima, la cual es aprovechada por los microorganismos encargados de degradar, por fases, los enlaces y compuestos complejos a otros más simples (Martínez y García 2016, p. 83), además, se reduce la formación de capas flotantes que generan bloqueos en los puntos de salida de los digestores e interfieren en el escape del biogás, por eso es importante considerar en la fase hidrolítica partículas entre de 1 – 2 mm para lograr la eficacia del tratamiento (Wellinger, Murphy y Baxter, 2013, p. 90 – 91). Con respecto al pre tratamiento químico se han investigado un conjunto de sustancias químicas, entre ácidos y bases en diferentes concentraciones. De acuerdo a Martínez y García se han evaluado diversos agentes alcalinos, de estos el que más se ha utilizado es el NaOH (2016, p. 86). El efecto del pretratamiento químico en la biomasa lignocelulósica fue evaluado por Zahan y Othman en base al PBM. Evaluaron para ello utilizaron como sustrato desechos de pollo (DP), desperdicio de alimento (DA) y paja de trigo (PA). La mezcla tratada produjo 321.6 ± 13.4 ml N/g SV que incremento cuando se adicionó 50% de sustratos pretratados (2019, pp. 287 - 294). Debido a su estructura y composición lo residuos lignocelulósicos son resistentes a la hidrolisis. El pretratamiento alcalino hace que la hemicelulosa sea más accesible a las enzimas hidrolíticas, además la lignina se solubiliza permitiendo el acceso a la celulosa (Wellinger, Murphy y Baxter, 2013, p. 94).

Con el fin de determinar el posible rendimiento de biogás, así como la velocidad de degradación y degradabilidad anaeróbica de materiales orgánicos se lleva a cabo pruebas de PBM (Wellinger, Murphy y Baxter, 2013, p. 64), con ello se selecciona el inóculo y sustrato potenciales, brinda un pronóstico, con respecto a la operación de reactores a escala real, permite determinar la producción energética de un sustrato así como evaluar el proceso co – digestivo anaerobico de diversos sustratos (Cárdenas et

al, 2016, p. 95). La prueba se lleva a cabo en frascos cerrados de 0.5 – 2 litros de capacidad (ver figura 2), asimismo el número de repeticiones deben ser por lo menos triplicados para cada disolución (Angelidaki, 2009, p. 931).

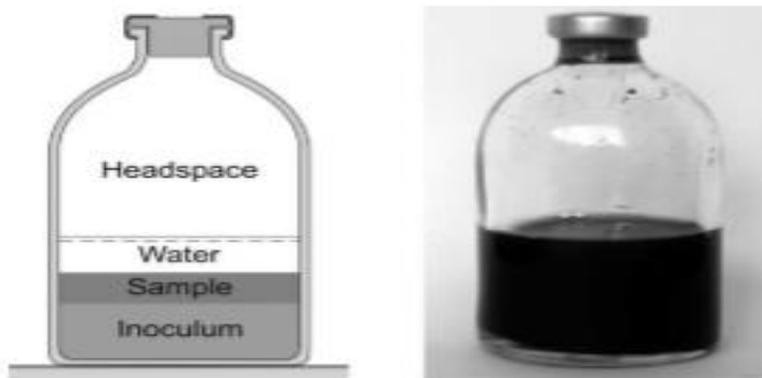


Figura 2. Recipiente para ensayo de biodegradabilidad anaeróbica, adaptado de Angelidaki, 2009

Previo al desarrollo de los ensayos de potencial bioquímico de metano (PBM), se debe caracterizar sustratos. En particular se debe determinar la concentración de nitrógeno, sólidos volátiles (SV), sólidos totales (ST); respecto al inóculo, se debe caracterizar la relación SV/ST, actividad metanogénica específica (AME) y la alcalinidad total (AIT), con el fin de identificar la biomasa activa, su capacidad de producir biogás y su capacidad buffer respectivamente (Cárdenas et al, 2016, p. 100).

Pohl, Sánchez – Sánchez y Mumme. utilizaron como sustrato aceite de colza y paja de trigo, establecieron tres tasas orgánicas, basado en la relación C/N, el experimento se realizó en dos sistemas de reactores a diferentes temperaturas (37 °C y 55°C), a temperatura termofílica (55°C) el rendimiento fue mayor en un 18 %, con una tasa orgánica (TO) de 2.5 g L⁻¹d⁻¹, pero cuando incremento la TO la producción disminuyó en un 2.2% (2019, párr. 8 - 39).

Vats, Khan y Ahmad estudiaron la co – digestión anaeróbica utilizando bagazo de caña de azúcar (BCA) y desechos de aves de corral (DAC), mediante dos conjuntos de experimentos, en el primero se co – digirió el BCA no tratado con DAC; mientras que en el segundo se co – digirió el BCA pretratado térmicamente con DAC, en ambos casos se

establecieron 6 mezclas BCA/DAC con resultados que incrementaron la producción de biogás en un 8 % para una mezcla 35:65 en la co -DA pretratada térmicamente (2019, párr, 4 – 21).

Kouas et al. experimentaron la co – digestión anaerobia en reactores discontinuos y luego usaron los datos obtenidos sobre los parámetros fisicoquímicos en una simulación automatizada de reactores semicontinuos para evaluar su comportamiento en la co – digestión anaeróbica. En el experimento, emplearon estiércol de vaca (EV), zanahoria (Z), tomate (T), repollo (RP), pan (P), gras (G) y carne de res (CR) y se establecieron 6 mezclas de dos sustratos, 01 de tres sustratos y 01 de cinco sustratos. La producción experimental de metano (CH_4), fue mayor con respecto a la calculada a partir del potencial bioquímico de metano (PBM) de cada sustrato demostrando que la actividad endógena resulta primordial en este proceso (2018, párr. 6 – 46). En otros casos se han logrado mayores rendimientos, por ejemplo, Vivekanand et al. utilizaron ensilaje de pescado (EP), suero (S) y estiércol de vaca (EV) y establecieron 15 combinaciones utilizando dos sustratos (EP/S; EP/EV-EV/S) y 03 combinaciones utilizando los tres sustratos (EP/S/EV) logrando un rendimiento de hasta 84 % en la mezcla de EV/EP frente a los sustratos mono digeridos (2018, párr 5 – 25).

LI et al. evaluaron las relaciones de mezclas de estiércol de vaca con, paja de trigo, paja arroz y tallo de maíz asimismo se evaluó si el efecto de ocho elementos (C, P, N, K, S, Fe, Co y Ni) de los residuos empleados, influían en la producción de biogás. La relación de mezcla de 1:9 mantuvo una alta remoción de SV y producción de metano. Asimismo, la relación de mezcla de 5:5 presento la mayor producción acumulada de metano con 19 L (2014, pp. 308 - 313). Kumari et al. Utilizaron de lodos de depurada, estiércol de vaca y diferentes sustratos orgánicos tales como desechos de jardín, aguas residuales lácteas, residuos florales y residuos de cocina. Se establecieron 4 mezclas cuatro mezclas obteniendo una tasa de producción máxima de 4500 ml/día (2018, pp. 2 – 8).

Alonso, Del río y García (2016) co – digirieron lodos de depurada con lixiviados de pulpa de remolacha azucarera, en un sistema de dos fases en un digestor termofílico, seguido de un digestor mesofílico y un sistema con un solo digestor monofásico para cada temperatura elegida (mesofílica o termofílica) y lograron un rendimiento máximo de CH_4

en condiciones mesofílicas (0.63 LCH₄ / g SVT eliminados) de una sola etapa a diferencia de la termofílica (0.21 LCH₄ / g SVT eliminados) (pp. 108 – 114). Hidalgo, Martín-Marroquín y Corona, evaluaron los efectos de la relación de mezcla utilizando, en este caso, harina de carne (HC), estiércol de cerdo (EC), glicerina (GL) y agua del proceso de producción de carne (APPC). Se concluyó que la co – DA de EC y AP favoreció el proceso en la producción de biogás cuando la cantidad de HC no excedía el 10% del total (2018, pp. 2 – 6).

Zheng et al, utilizaron residuos agropecuarios, en este caso pasto (P), hierbas (H) y estiércol lácteo (EL), fueron digeridos en reactores Bach con pruebas duplicadas de mono – digestión utilizando el P y H, de co- digestión usando estiércol lácteo y hierbas en 05 mezclas y de co- digestión de estiércol lácteo con pasto en una relación 2:2 (EL/P). Este último proceso EL/P resulto óptimo con una producción de metano de 39% en comparación con la mono - digestión (2018, pp. 250 – 256). Estos intentos por generar metano a partir de residuos orgánicos merecen especial atención sobre todo en grandes urbes, donde el desarrollo económico genera un crecimiento poblacional por la elevada migración de hombres y mujeres, sin embargo, este desarrollo surge acompañado de un fuerte consumismo y generación de subproductos orgánicos que en países en vía de desarrollo aún no son revalorizados y aplicados como fuente renovable.

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

Tipo de estudio

La investigación es de tipo aplicativo, se manipulan las variables basadas en los conocimientos teóricos, ya establecidos, asimismo el diseño es experimental, dado que se obtendrán resultados mediante proceso empírico.

La investigación a realizar es de nivel explicativo. Según Hernandez, este tipo de estudio radica en interpretar la relación de dos o más variables (2014, p.95).

Diseño de investigación

La investigación tiene un diseño experimental de un factor con k observaciones con n tratamientos

$$y = t + K + e \text{ (ecu. 1)}$$

Donde:

t = tratamientos o dosis (causa).

k = observaciones (efecto).

3.2 Variables y operacionalización

Tabla 1. Operacionalización de variable

VARIABLE	DEFINICION	DEFINICION	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
INDEPENDIENTE	CONCEPTUAL	OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Sustratos agropecuarios	Los sustratos son aquellos residuos que derivan de las actividades agropecuarias, en el caso de ser mezclados dichos residuos proceso al que van a ser sometidos se denomina co - digestión (González y Jurado, 2017, p.45).	Para operacionalizar la variable se realizó un pretratamiento alcalino con hidróxido de sodio al 8% y 10 % a la paja de arroz, se medirá la eficiencia en base a los componentes lignocelulósicos	Pretratamiento químico a la paja de arroz	Lignina	%
				Celulosa	%
				Holocelulosa	%
VARIABLE DEPENDIENTE	CONCEPTUAL	OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Producción de biogás	El biogás es una mezcla de gases siendo el metano el más importante de estos, debido a su capacidad calorífica (FNR, 2010, p. 31)	Para operacionalizar la variable, la paja de arroz pretratada con la mejor dosis se co - digerio con estiércol de ovino, en diferentes proporciones. Se opto la mejor mezcla en base al potencial bioquímico de metano (PBM). Asimismo, se obtuvo un modelo estadístico para predecir para predecir la producción de biogás.	Modelo	Producción potencial máxima	Adimensional
			Mezcla	Cociente de tasa máxima	Adimensional
				Posibilidad de producir biogás en base al sustrato	Adimensional
				100% PAST	%
				30% EO / 70% PA	%
				50% EO / 50% PA	%
				70% EO / 30 % PA	%
100 % EO	%				

Fuente. *Elaboración propia.*

3.3 Población, muestra, muestreo, unidad de analisis

Población

La paja de arroz, se obtuvo de la empresa “Agro Estrella” E.I.R.L, localizada en ciudad de Camaná, en el departamento de Arequipa. Dicha institución cuenta a la fecha con 243 hectáreas aptas para la siembra de arroz cáscara.

El estiércol de oveja que se ha empleado en la investigación, se obtuvo del “Módulo de crianza para la investigación y capacitación del sistema de producción de ovinos – RIGORANCH”, localizado en la Universidad Nacional Agraria – La Molina (UNALM), con una producción de 150 cabezas de ovinos anuales. Las defecaciones son almacenadas en cúmulos en la parte inferior, donde habitan los animales, dicho almacenamiento, no cuenta con piso o geomembrana impermeable en la superficie.

Para el funcionamiento de los digestores se requirió de lodo activado, la cual se obtuvo del reactor de flujo ascendente (UASB) del Centro de Investigación en Tratamientos de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos (CITRAR – UNI).

Muestra

La cantidad de sustrato a emplear en los reactores, está basado en los valores de sólidos volátiles presentes, tanto en el estiércol de ovino (EO), la paja de arroz sin tratar (PAST) y la paja de arroz tratada (PAT) inóculo, para ello se aplicó la ecuación 13. (Contreras, Pereda y Romero, 2012, p.8).

$$P_i = \frac{m_i * c_i}{m_s * c_s} \text{ (ecu. 2)}$$

Dónde:

Pi = Relación inóculo/ sustrato

mi = Masa del inóculo (gr).

ms = Masa del sustrato (gr).

ci = Sólidos volátiles del inóculo (%)

cs = Sólidos volátiles del sustrato (%)

En la presente investigación se optó por una relación inóculo/sustrato de 0.5, ya que el ensayo se llevó a cabo en reactores discontinuos sin agitación (Cárdenas et al, 2016, p.102).

Muestreo

La muestra representativa se realizó método de cuarteo (ver figura. 3) descrito por WELLINGER, MURPHY y BAXTER (2013, p. 58). se tomó 6 sub muestras superficiales de estiércol fresco, cabe indicar que las heces frescas se encontraban en la parte superior de los cúmulos (fig. a). Seguidamente, se realizó un zarandeo (fig. b) con la finalidad de obtener estiércol libre de materiales, tales como piedras, tierra, etc. Luego se extendieron sobre un plástico formando un montón (fig. c), mediante una lampa se mezclaron las sub muestras hasta homogeneizarlas (fig. d). Posteriormente, se dividió en cuatro partes, eliminando las dos partes opuestas, la operación se repitió hasta obtener 2 Kg, dicha muestra se conservó a bajas temperatura (fig. e).

En cuanto a la paja de arroz (ver figura. 4), se tomaron 20 sub muestras superficiales de la zona de almacenamiento (fig. a.), posteriormente se realizó el mismo procedimiento, con la cual se obtuvo la muestra de estiércol extrayendo 2 Kg (fig. b.). En cuanto al inóculo, se tomó 15 litros del reactor anaeróbico de flujo ascendente de la CITRAR – UNI (ver figura 5), para ello se dejó fluir el contenido del reactor durante 2 minutos con la finalidad de obtener microorganismos activos (fig. a). Luego se almaceno en un recipiente (fig. b). Las muestras recolectadas de ambos subproductos agropecuarios fueron almacenadas en bolsas con sello hermético a bajas temperaturas (4 °C).

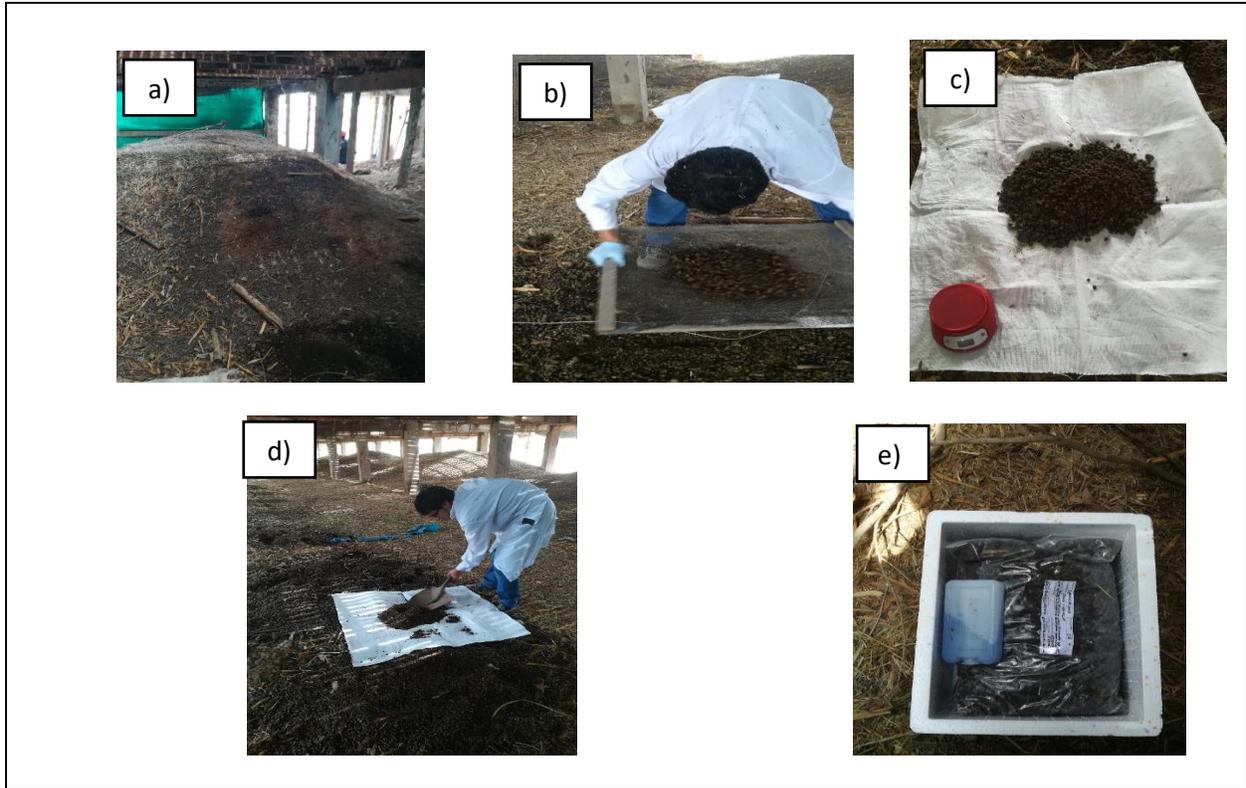


Figura 3. Toma de muestras de estiércol de ovino



Figura 4. Toma de muestra de paja de arroz

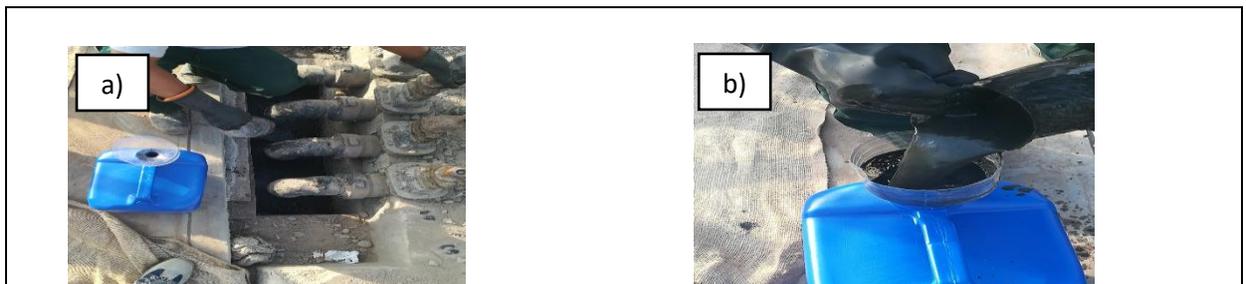


Figura 5. Toma de muestra de inóculo

Unidad de análisis

Para la presente investigación se estudiaron 5 dosis 100 % EO; 50% EO/ 50% PAT; 70% EO /30% PAT; 70% PAT /30% EO y 100 % PAST. Se tomo como elemento de medición el volumen desplazado, Se realizó tres repeticiones para cada dosis (ver tabla 6.)

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La caracterización de los sustratos, el inóculo y la medición de los indicadores especificados en la matriz de operacionalización se realizaron de acuerdo a las siguientes técnicas.

Tabla 2. Parámetros para la caracterización de sustratos agropecuarios e inóculo

Parámetro	Metodología	Ecuación
Solidos volátiles (SV)	Método Gravimétrico	$\% SV = \frac{(W_3 - W_4) \cdot 100}{W_3 - W_1} \text{ (ecu. 3)}$ <p>W_4= Masa del residuo + placa después de ignición en la mufla (gr).</p>
Relación carbono/nitrógeno	Varnero	$K = \frac{\%C}{\%N} \text{ (ecu. 4)}$ <p>Dónde: K= C/N de mezcla de sustratos. C= % de carbono orgánico que presentan los sustratos. N= % de nitrógeno que presentan los sustratos.</p>
Actividad metanogénica específica (AME)	Método Volumétrico	$AME_{experimental} = \frac{m}{I + V_{muestra}} \text{ (ecu. 5)}$ <p>donde: m= Pendiente máxima de la curva de producción de biogás I= Concentración del inóculo en gSV/l VT muestra = Volumen total de muestra en la botella</p>
Potencial de hidrogeno (pH)	Método de electrométrico	--

Fuente: Adaptación de APHA, AWWA, y WEF, 1992; NOM - 021,2002; Pérez y Torres, 2008; Varnero,2011; Soto, 1992.

Tabla 3. Parámetros para la evaluación de pre tratamiento a la paja de arroz

Parámetro	Metodología	Ecuación
Lignina	Método Klason	$\% \text{ Lignina} = \frac{C}{D} * 100$ (ecu. 6) Donde: C= Peso del residuo seco (lignina) D = Peso de la muestra seca
Celulosa	Método Gravimétrico	$\% \text{ Celulosa} = \frac{A}{B} * 100$ (ecu. 7) Donde: A= Peso del residuo seco B = Peso de la muestra seca Porcentaje de hemicelulosa
Holocelulosa	Método Gravimétrico	$\% \text{ holocelulosa} = \frac{R}{W} * 100$ (ecu. 8) Donde R = Peso de la Holocelulosa W = Peso de la muestra Porcentaje de lignina
Hemicelulosa	Diferencia entre el porcentaje de Celulosa y Holocelulosa	$\% \text{ Hemicelulosa} = \% \text{ Holocelulosa} - \% \text{ Celulosa}$ (ecu. 9)

Fuente: Norma TAPPI- 222, 2006; Jaime y Wise, ASTM 1998 D5142

Para determinar los indicadores planteados en la matriz de operacionalización (tabla. 1) se emplearon los siguientes instrumentos

- Sistema Bach

Son equipos que permiten medir directamente el metano, utilizando una base, que captura el dióxido de carbono. En comparación a los otros equipos (el manométrico y el cromatógrafo de gases) es el de más bajo costo (Cárdenas, et al. 2016, p. 102). La figura 4, detalla de forma esquemática la instalación del sistema Bach para la investigación.

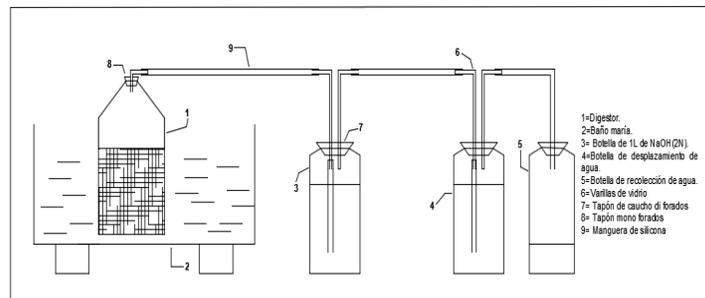


Figura 6. Sistema Bach esquematizado

Tabla 4. Validez de equipos utilizados

NOMBRE	SERIE	FUNCIÓN	IMAGEN
pH- metro	HANNA/ HI 8424	Permite medir las concentraciones de iones del gas hidrogeno, presente en una disolución, también se denomina potenciómetro (López, 2012, p. 10). El pH es un parámetro fundamental en el proceso anaeróbico, Lee et al, evaluó el efecto de una fuente alcalina en la co – digestión anaeróbica, tomando como variable el pH (2019 pp. 433 – 438).	
Estufa	VULCAN 3-550	Es un equipo la cual sirve para secar recipientes y muestras, está constituida por dos cámaras, una externa y la otra interna, la segunda está elaborada con material de aluminio, la cual permite una adecuada transmisión de calor, en el interior se encuentran anaqueles elaborados con materiales inoxidables, es en este en donde se deposita las muestras que van a ser secadas (Organización Panamericana de la Salud, 2015, p. 139).	
Mufla	STEEL	Este equipo tiene como fin eliminar los componentes biológicos de la muestra, sometiéndolo a elevadas temperatura, entre 500°C a 1000 °C (López, 2012, p. 17). Para determinar la muestra, mediante la ecuación 2 se requiere la concentración de solidos volátiles (Contreras, Pereda y Romero, 2012, p.8).	

Fuente. Elaboración propia.

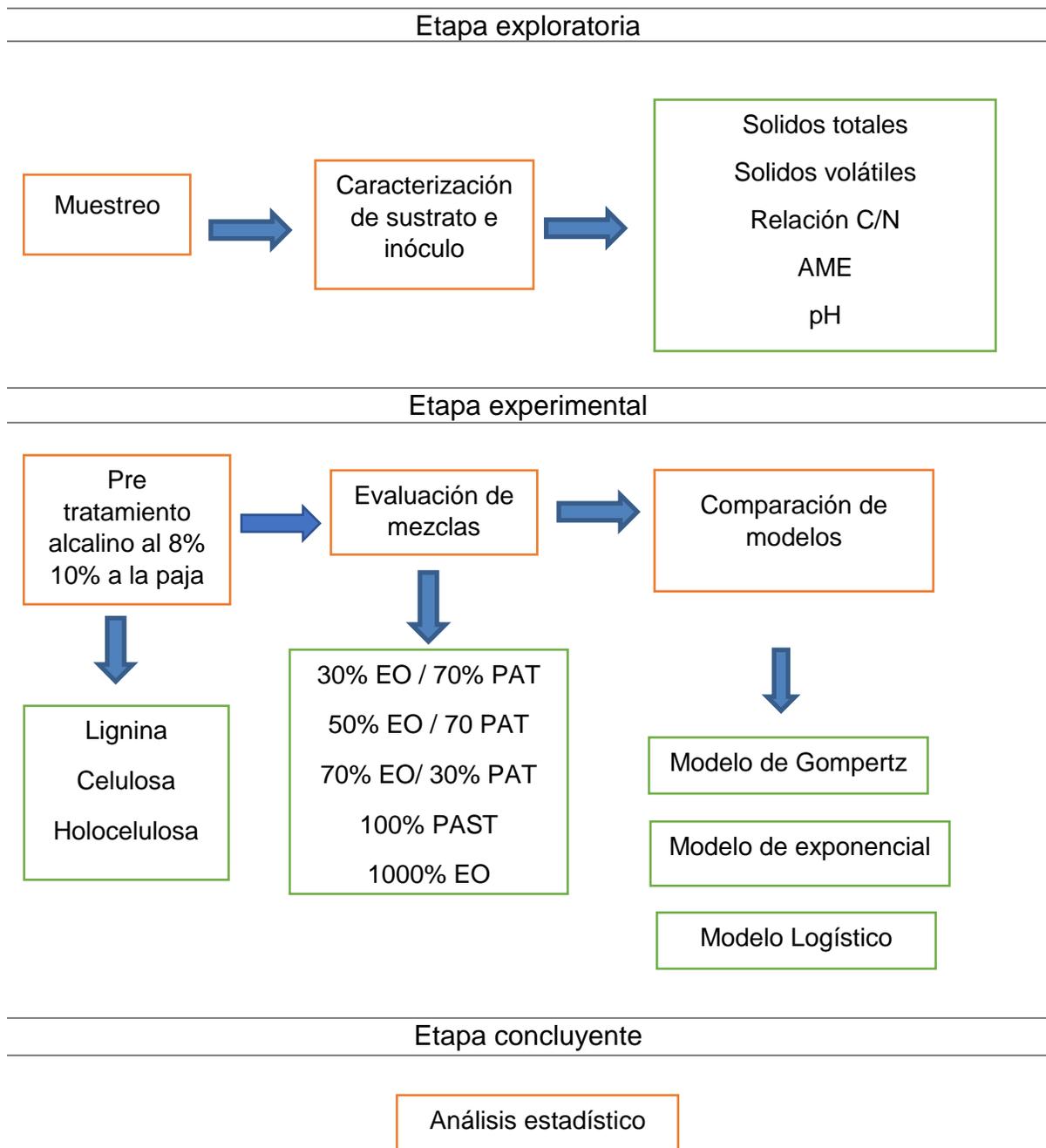
- Baño María

Es un equipo, que está conformado por un tanque de material inoxidable, en la parte inferior de este se encuentra montado un conjunto de resistencias eléctricas, en este equipo se somete a los sustratos hasta 100 °C (Organización Panamericana de la Salud, 2015, pp. 55 - 57). Debido a que el estudio se llevó a cabo a temperatura mesofílica se utilizó un termostato para mantener dicho rango de temperatura, un recipiente de plástico de 30 L.

3.5 Procedimiento

El procedimiento se subdividió en tres etapas como se detalla en la tabla 5. En la etapa exploratoria se obtuvo la muestra (ver. Ecu. 2) y a su vez se caracterizó los sustratos y el inóculo. Posteriormente, se llevó a cabo el pretratamiento alcalino con NaOH al 8 y 10%. La paja de arroz pretrata con la dosis más eficiente, en base a los componentes lignocelulósicos de dicho sustrato se co – digirieron con estiércol de ovino, al finalizar el proceso se realizó con los volúmenes de biogás obtenidos una comparación de modelos con el fin de determinar el que mejor se ajusta. Finalmente, en la etapa concluyente, se realizó el análisis estadístico.

Tabla 5. diagrama de procedimiento



Fuente. Elaboración propia.

Procedimiento de la etapa exploratoria

Caracterización fisicoquímica a los sustratos

Inicialmente se midieron tanto a los sustratos como al inóculo los sólidos volátiles (SV), sólidos totales (ST), carbono, nitrógeno, pH (ver ANEXO. 2), dichos análisis se llevaron

a cabo en el laboratorio de química de la Universidad Cesar Vallejo - Lima Norte y en el laboratorio de Análisis de Suelos Plantas Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Determinación de actividad metanogénica al inóculo (AME)

La AME del inóculo, se utilizaron seis recipientes con un volumen de 500 ml, tres de ellos estuvieron conformados por el inóculo más ácido acético como sustrato estándar, mientras que los otros tres fueron el inóculo sin sustrato, también llamados blancos. Cada digester se conectó, hacia un frasco que contenía una solución de NaOH al 0.625 N, la cual genero la formación de carbonato, atrapando el dióxido de carbono presente en el biogás, gas se midió por el volumen desplazado de agua. El ensayo se realizó a temperaturas mesofílicas para ello se utilizó un termostato de 50 W. la AME se calculó aplicando la ecuación 5.



Figura 7. Ensayo de AME

Procedimiento de la etapa experimental

Pretratamiento

La paja de arroz (PA), se trituró en una molineta (fig. a), luego se tamizó (fig. b) obteniendo un tamaño de partícula entre 1 - 3 mm, el fin de este pretratamiento fue obtener una mayor área específica de la biomasa lignocelulósica (Contreras, Pereda y Romero, 2012, p.3)

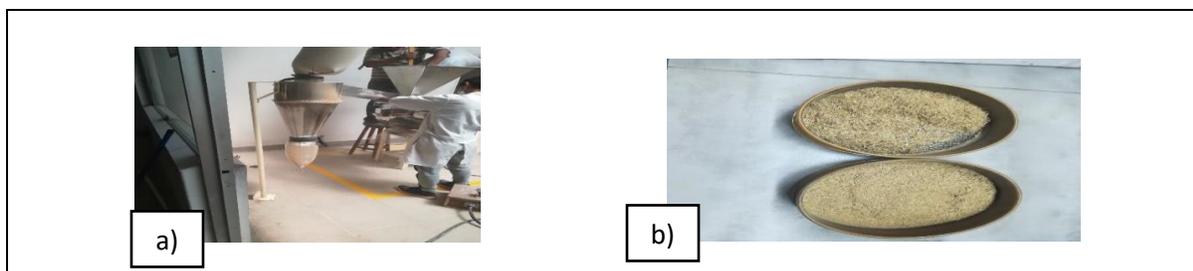


Figura 8. Tratamiento físico a la paja de arroz

Posteriormente, se realizó un tratamiento alcalino con hidróxido de sodio (ver fig. a), con concentraciones de 8% y 10% a la PA extruida (ver fig. b), el proceso se realizó en frascos de 500 ml hidróxido de sodio (ver fig. d), el volumen de trabajo fue de 450 ml. A cada frasco se le añadió 30 gramos de paja de arroz (ver fig. c) y agua destilada (ver fig. e.), para para ajustar la relación masa/volumen 1:10 (p/v). las mezclas se agitaron manualmente 3 veces al día y se encubaron por 72 horas a temperatura ambiente. Culminado el pretratamiento la paja de arroz se filtró (ver fig. f.), y se secó a una estufa por 24 horas a 105 °C (fig. g.), la muestra se almacenó para su posterior uso a 4 °C.

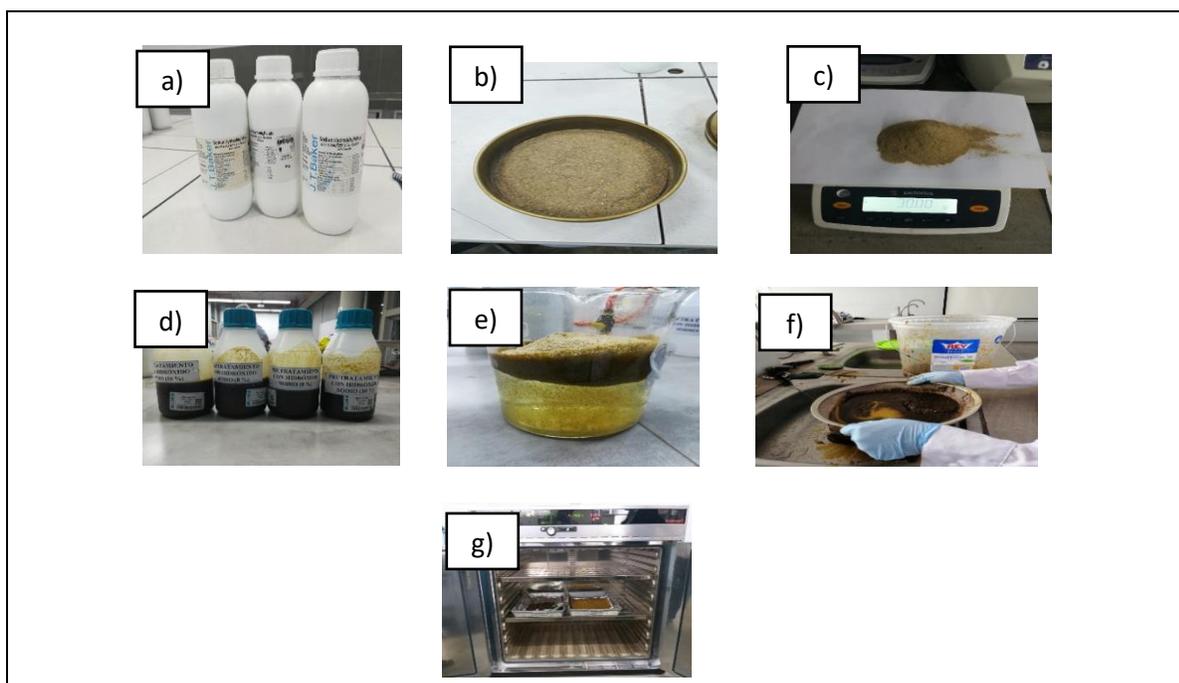


Figura 9. Tratamiento alcalino a la paja de arroz

Los componentes lignocelulósicos de la paja de arroz no tratada y pretratada con hidróxido de sodio al 8% y 10% se determinaron en el laboratorio de servicios de análisis químicos (LASAQ) de la Universidad Nacional Agraria La Molina (ver Anexo. 3).

Prueba de potencial bioquímico de metano (PBM)

Se estableció tres mezclas (ver tabla. 6) con la finalidad de medir cual es el que presenta mayor eficiencia, para la producción de biogás. Asimismo, se evaluó la mono digestión.

Tabla 6. Dosis establecidas para la co - digestión y mono digestión anaeróbica

Co -digestión anaeróbica	
Dosis 1	70 % EO – 30 % PAT
Dosis 2	50% EO – 50 % PAT
Dosis 3	30 % EO – 70 % PAT
Mono digestión anaeróbica	
Dosis 4	100 % PAST
Dosis 5	100 % EO

Fuente. Elaboración propia.

El ensayo se realizó en frascos de 500 ml, la fase de almacenamiento de gas representa el 10 % del volumen de trabajo, mientras el inóculo ocupa un espacio de 10 % del volumen útil (ver anexo. 4), además, se preparó tres blancos. La prueba se realizó a temperatura mesofílicas (35 °C), con agitación manual diariamente, durante un minuto mediante el uso de un termostato. Se preparó una solución alcalina al 2 N, para la captura de dióxido de carbono (CO₂) que se generó en los reactores. El volumen del gas se midió por volumetría.

Se realizó tres repeticiones para cada dosis, ello para garantizar la reproductibilidad de los ensayos en base a un análisis estadístico (Angelidaki, 2009, p. 931). Asimismo, se operaron tres réplicas de reactores control (blancos), cuyo fin fue determinar la producción endógena.



Figura 10. Ensayo de PBM

3.6 Método de análisis de datos

Procedimiento de la etapa concluyente

Método de análisis de datos

Para determinar estadísticamente si existe diferencia significativa entre las medias de la producción de metano (CH_4) y las dosis (D_1 , D_2 , D_3 , D_4 y D_5), se llevó a cabo la prueba de Kruskal-Wallis para analizar si existe diferencias significativas entre las cantidades de biogás de cada dosis empleada. Para determinar estadísticamente si existe diferencia significativa entre las medias en los pretratamientos alcalino con hidróxido de sodio al 8% y 10%, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) de un factor, la unidad experimental está representada por las dosis, la cual modifican los componentes lignocelulósicos presentes en la paja de arroz. Posteriormente se realizó el test de TUKEY cuyos resultados permitieron determinar cuál es la dosis óptima. Para determinar el modelo más adecuado en base a la producción de biogás se realizó el coeficiente de determinación (R^2).

3.7 Aspectos éticos

El presente proyecto se lleva a cabo manteniendo en reserva la información brindada por las empresas, de donde se obtiene los subproductos agropecuarios y el inóculo, de esta manera se evita un conflicto de intereses entre el investigador y las empresas.

IV. RESULTADOS

En la tabla 7 y tabla 8 se presentan los resultados obtenidos de la caracterización fisicoquímica de la paja de arroz, el estiércol de oveja y el inóculo. Asimismo, en la tabla 9 se presentan los resultados de la caracterización de la paja de arroz tratada.

Tabla 7. caracterización fisicoquímica del estiércol de ovino y la paja de arroz

Parámetro	Unidad	Paja de arroz sin tratar	Estiércol de ovino
Sólidos volátiles	%	77.45 %	67.88 %
Potencial de hidrogeno	Adimensional	7.45	8.64
Humedad	%	4.37%	-
Cenizas	%	23.02%	-
Carbono orgánico	%	44.79	21.9
Nitrógeno	%	1.17	1.90
Relación C/N	%	38.28	11.08
Extractivo	%	7.27	-
Lignina	%	34.97	-
Celulosa	%	44.44	-
<i>Holocelulosa</i>	%	34.5	-

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 8. caracterización fisicoquímica del inóculo

Parámetro	Unidad	Resultado
Sólidos volátiles	%	41.84 %
Potencial de hidrogeno	Adimensional	6.43
Carbono orgánico	%	29.72
Nitrógeno	%	2.78
Relación C/N	%	10.7
Actividad metanogénica específica (AME)	g DQO/ g SSV * día	0.8776

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 9. Caracterización fisicoquímica de la paja de arroz pretratada (PAT)

Parámetro	Unidad	Resultado
Sólidos volátiles	%	76.44 %
Potencial de hidrogeno	Adimensional	7.86
Carbono orgánico	%	20.01
Nitrógeno	%	0.65
Relación C/N	%	30.78

Fuente. Elaboración propia

Tabla 10. Pretratamiento alcalino de la paja de arroz

En la tabla. 10 se presenta los resultados obtenidos del tratamiento alcalino con dosis al 10% y 8% en los componentes lignocelulósicos de la paja de arroz.

<i>Ensayo</i>	<i>PAT</i> 10%	<i>PAT</i> 10%	<i>PAT</i> 10%	<i>PROMEDIO</i>	<i>PAT</i> 8%	<i>PAT</i> 8%	<i>PAT</i> 8%	<i>PROMEDIO</i>
Humedad (%)	81.60	81.03	80.01	80.88%	81.52	82.21	80.02	81.25%
Extractivo (%)	22.47	22.86	11.96	19.10%	24.10	17.89	12.00	18.00%
Lignina (%)	22.00	25.00	4.10	17.03%	28.00	18.0	17.65	21.22%
Holocelulosa (%)	30.00	22.0	10.91	20.97%	31.82	27.0	17.81	25.54%
Celulosa (%)	15.05	15.91	6.87	12.61%	19.86	23.52	16.90	20.09%
Hemicelulosa (%)	14.95	6.09	4.04	8.36%	11.96	15.91	0.91	9.59%
Ceniza (%)	66.00	65.50	64.50	65.33%	61.50	58.50	59.50	59.83%

Fuente. Elaboración propia.

En la figura. 11 se muestra los resultados de la generación de biogás, a partir de los promedios obtenidos para determinar la actividad metanogénica del inóculo empleado en la prueba, con una pendiente máxima 8.1667, obtenida de un análisis de regresión lineal.

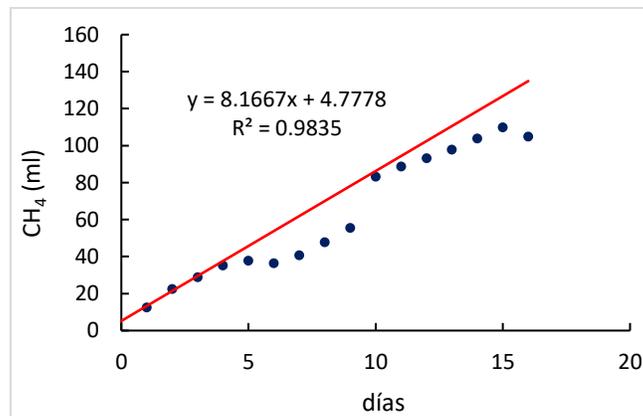


Figura 11. Actividad metanogénica específica, elaboración propia

En la figura 12 se muestra los resultados de la generación de metano (CH₄) en mililitros, a partir de los promedios obtenidos de las mezclas de sustratos para determinar el PBM. Como se puede apreciar la dosis con 50% EO/50% PAT presenta mayor rendimiento de metano durante los días de investigación a comparación con las otras mezclas.

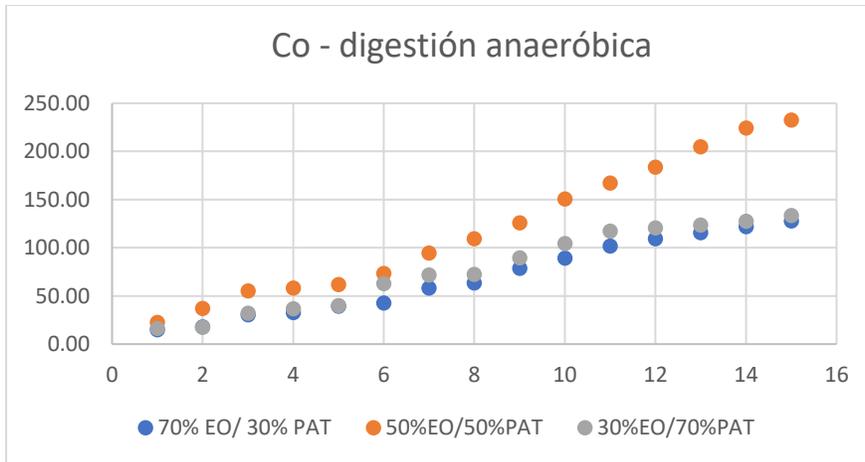


Figura 12. Co - digestión anaeróbica, elaboración propia

En la figura 13 se muestra los resultados de la generación de metano (CH_4), a partir de los promedios obtenidos de los sustratos digeridos para determinar el PBM empleado en la prueba, detallada en la etapa exploratoria, como se puede apreciar la dosis con 100 % EO de ovino, fue la que presentó la menor generación de metano en contraste con la paja de arroz sin tratar.

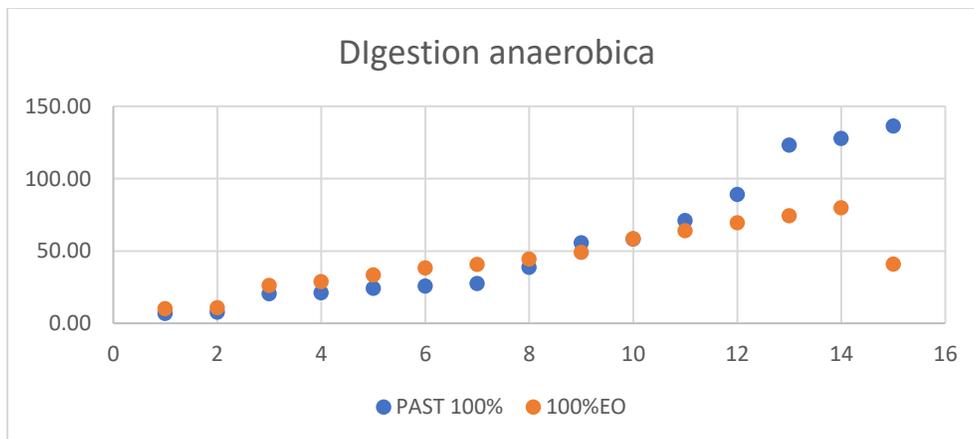


Figura 13. Mono digestión anaeróbica, elaboración propia

Análisis estadístico

Pretratamiento

Resultados del test ANOVA de un factor de las concentraciones de Lignina, Celulosa, Holocelulosa obtenidas a diferentes soluciones de Hidróxido de sodio.

Tabla 11. Test ANOVA

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
LIGNINA	Entre grupos	622,101	2	311,050	6,254	,034
	Dentro de grupos	298,428	6	49,738		
	Total	920,529	8			
HOLOCELULOSA	Entre grupos	928,840	2	464,420	6,873	,028
	Dentro de grupos	405,410	6	67,568		
	Total	1334,250	8			
CELULOSA	Entre grupos	742,724	2	371,362	10,024	,012
	Dentro de grupos	222,285	6	37,048		
	Total	965,009	8			

Fuente. *Elaboración propia.*

En consecuencia, con el propósito señalado, para cada producto del experimento por separado se compararon, mediante ANOVA, las medias de las concentraciones obtenidas entre los tres tratamientos (tabla 11), el nivel de significancia es menor a 0.05 para los tres componentes por lo que hay diferencias significativas entre los pretratamientos realizados.

Se complementó el análisis anterior con la realización de comparaciones múltiples (test de TUKEY) cuyos resultados permitieron finalmente determinar cuál de las soluciones fue la mejor.

Tabla 12. Agrupación de tratamientos, según similitud de resultados lignina

HSD Tukey^a

TRATAMIENTO	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
HIDROXIDO DE SODIO 10%	3	14,7000	
HIDROXIDO DE SODIO 8%	3	23,8833	23,8833
SIN TRATAMIENTO	3		35,0333
Sig.		,318	,209

Fuente. Elaboración propia.

La mayor concentración promedio de Lignina se dio en el caso del experimento sin tratamiento con NaOH (media=35.0333) y los menores promedios se dieron tanto en las muestras con el tratamiento de NaOH al 10% (media=14.7000) y en las muestras con el tratamiento de NaOH al 8% (media=23.8833).

Tabla 13. Agrupación de tratamientos según similitud de resultados, Holocelulosa

HSD Tukey^a

TRATAMIENTO	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
HIDROXIDO DE SODIO 10%	3	20,9700	
HIDROXIDO DE SODIO 8%	3	25,5433	25,5433
SIN TRATAMIENTO	3		44,4400
Sig.		,782	,068

Fuente. Elaboración propia.

La mayor concentración promedio de Holocelulosa se dio en el caso del experimento sin tratamiento con NaOH (media=44.4400) y los menores promedios se dieron tanto en las muestras con el tratamiento de NaOH al 10% (media=20.9700) y en las muestras con el tratamiento de NaOH al 8% (media=25.5433).

Tabla 14. Agrupación de tratamientos, según similitud Celulosa

HSD Tukey^a

TRATAMIENTO	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
HIDROXIDO DE SODIO 10%	3	12,6100	
HIDROXIDO DE SODIO 8%	3	20,0933	20,0933
SIN TRATAMIENTO	3		34,5000
Sig.		,353	,062

Fuente. *Elaboración propia.*

La mayor concentración promedio de Celulosa se dio en el caso del experimento sin tratamiento con NaOH (media=34.5000) y los menores promedios se dieron tanto en las muestras con el tratamiento de NaOH al 10% (media=12.6100) y en las muestras con el tratamiento de NaOH al 8% (media=21.0933).

Ensayo de producción bioquímica de metano

Las cantidades de producción de metano de estas mezclas fueron medidas, en primer lugar, mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, la cual es una prueba que analiza si existe o no normalidad con menos de 50 datos.

Tabla 15. Prueba de normalidad Shapiro Wilk

	Mezcla	Shapiro-Wilk			Interpretación
		Estadístico	gl	Sig.	
Producción de metano	100% paja de arroz	0,869	15	0,033	No normalidad
	70% estiércol ovino/ 30% paja de arroz	0,924	15	0,225	Normalidad
	50% estiércol ovino/ 50% paja de arroz	0,935	15	0,322	Normalidad
	30% estiércol ovino/ 70% paja de arroz	0,909	15	0,133	Normalidad
	100% estiércol ovino	0,964	15	0,761	Normalidad

Fuente. *Elaboración propia.*

El resultado de la significancia fue menor al nivel de significancia para el sustrato 100% paja de arroz, por lo cual las cantidades de producción de metano de este sustrato no poseen distribución normal. Al existir una distribución de cantidades de metano que no tienen normalidad se debe utilizar la prueba de Kruskal-Wallis para analizar si se presenta diferencias significativas entre las cantidades de metano de cada mezcla empleada.

Tabla 16. Prueba de Krukal - Wallis

<i>Estadísticos de prueba^{a,b}</i>	
	Producción de biogás
H de Kruskal-Wallis	13,087
gl	4
Sig. asintótica	0,011
a. Prueba de Kruskal Wallis	
b. Variable de agrupación: Mezcla	

Fuente. Elaboración propia.

La significancia (Sig.) indica un valor de 0,011, de manera que es menor al nivel de significancia de 0,05 por ende, se debe rechazar la hipótesis nula y expresar que existen diferencias significativas entre los sustratos agropecuarios para la producción de biogás mediante la co - digestión anaeróbica, Lima 2019. Al haberse identificado que existen diferencias significativas entre los sustratos agropecuarios se debe utilizar una prueba Post-Hoc, para definir la dosis óptima de sustratos agropecuarios para la producción de biogás.

La prueba Post-Hoc de Kruskal Wallis analiza los rangos promedios de las cantidades de producción de biogás de cada sustrato o mezcla analizada.

Tabla 17. Pruebas de rangos de Kruskal – Wallis

Mezcla		N	Rango promedio	Rango promedio
producción	100% estiércol ovino	15	27,47	
	100% paja de arroz	15	29,67	
	70% estiércol ovino/ 30% paja de arroz	15	38,20	38,20
	30% estiércol ovino/ 70% paja de arroz	15	41,87	41,87
	50% estiércol ovino/ 50% paja de arroz	15		52,80

Fuente. *Elaboración propia.*

En la tabla. 17 se puede observar que los rangos promedios de las cantidades de producción de biogás de la primera columna se corresponden a las mezclas de menor efectividad, las mezclas que ocupan ambas columnas son medianamente efectivas y las de solo la columna derecha se corresponden a los de mayor efectividad.

Ajuste de modelo

En la tabla 18, 19, 20, 21 y 22 se presentan los tres modelos y los parámetros, así como el coeficiente de relación (R^2), mediante el software JMP.

Tabla 18. DOSIS EO 100% mod. Gompertz, mod. Logístico y el mod. Exponencial

MODELO LOGÍSTICO		MODELO GOMPERTZ		MODELO EXPONENCIAL	
Parámetro	Estimación	Parámetro	Estimación	Parámetro	Estimación
A	0.547	A	53.999	A	31.295
B	3.924	B	0.426	B	0.032
C	54.005	C	2.804		
R cuadrado	0.568	R cuadrado	0.576	R cuadrado	0.209

Fuente. *Elaboración propia.*

Tabla 19. DOSIS 70% EO / 30% PAT mod. Gompertz, mod. logístico y el mod. Exponencial

MODELO LOGÍSTICO		MODELO GOMPERTZ		MODELO EXPONENCIAL	
Parámetro	Estimación	Parámetro	Estimación	Parámetro	Estimación
A	0.583	A	97.891	A	50.690
B	4.951	B	0.428	B	0.037
C	97.877	C	3.766		
R cuadrado	0.604	R cuadrado	0.623	R cuadrado	0.231

Fuente. Elaboración propia

Tabla 20. DOSIS 50% EO/50% PAT mor. Gompertz, mod. Logístico y el mod. Exponencial

MODELO LOGÍSTICO		MODELO GOMPERTZ		MODELO EXPONENCIAL	
Parámetro	Estimación	Parámetro	Estimación	Parámetro	Estimación
A	0.421	A	193.954	A	69.474
B	6.544	B	0.278	B	0.058
C	190.258	C	4.917		
R cuadrado	0.763	R cuadrado	0.739	R cuadrado	0.483

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 21. DOSIS 70% PAT/30%EO mod. Gompertz, mod. Logístico y el mod. Exponencial

MODELO LOGÍSTICO		MODELO GOMPERTZ		MODELO EXPONENCIAL	
Parámetro	Estimación	Parámetro	Estimación	Parámetro	Estimación
A	0.373	A	129.414	A	37.144
B	7.158	B	0.232	B	0.070
C	123.548	C	5.551		
R cuadrado	0.934	R cuadrado	0.918	R cuadrado	0.716

Fuente. Elaboración propia

Tabla 22. DOSIS PAST 100% mod. Gompertz, mod. Logístico y el mod. Exponencial

MODELO LOGÍSTICO		MODELO GOMPERTZ		MODELO EXPONENCIAL	
Parámetro	Estimación	Parámetro	Estimación	Parámetro	Estimación
A	0.485	A	115.419	A	24.986
B	8.846	B	0.301	B	0.086
C	111.613	C	7.472		
R cuadrado	0.871	R cuadrado	0.843	R cuadrado	0.652

Fuente. Elaboración propia.

V. DISCUSIÓN

Caracterización fisicoquímica de sustratos e inóculo

Se realizó una caracterización de los sustratos, en cuanto a la paja de arroz sin tratar presenta el pH más óptimo con 7.45 para el proceso de biodegradación. El estiércol de ovino presenta un pH alcalino con un 8.64, con respecto al inóculo presenta un pH ácido con un 6.43, al respecto si el pH se encuentra inferior a 6 puede conllevar a una baja producción de biogás, por lo que el pH de los sustratos no debe ser mayor a 8 ni menor a 6 (Varnero, 2011, p. 43).

En cuanto a la relación C/N en el inóculo y el estiércol de ovino es bajo con un 10.7 y 11.08, respectivamente, la mayor relación se da en la paja de arroz sin tratar con un 38.28, no obstante, al aplicar el pretratamiento alcalino en la paja de arroz la relación se redujo en un 30.78, la cual se encuentra en el rango óptimo (Wellinger, Murphy y Baxter, 2013, p. 34), para llevar a cabo el proceso anaeróbico.

Para determinar la actividad metanogénica se realizó un ensayo por triplicado en base a los sólidos volátiles presentes en el lodo anaeróbico, obtenido de un reactor de flujo ascendente, dicha evaluación se llevó a cabo durante 28 días, como resultado se obtuvo un AME 0.8776 gDQO / g SSV * día, la cual se encuentra dentro del rango establecido para lodo floculento.

Efecto del pretratamiento alcalino

Mediante la adición de una sustancia alcalina se solubiliza la lignina permitiendo un mayor acceso a la hemicelulosa y celulosa (Wellinger, Murphy y Baxter, 2013, pp. 90 – 91). Se observó cambios en las características físicas de la biomasa lignocelulósica culminado el tratamiento alcalino, la lignina, holocelulosa, celulosa y hemicelulosa se redujeron en un 17.03%, 20.97%, 12.61% y 8.36% (base seca) respectivamente con una dosis de hidróxido de sodio al 10%, con respecto al tratamiento con una dosis de hidróxido de sodio al 8%, la lignina, holocelulosa, celulosa y hemicelulosa se redujo 21.22%, 25.54%, 20.09% y 9.59% (base seca), siendo el tratamiento al 10% el que presenta mayores cambios. Dichos resultados comprueban con lo planteado por HE et

al., 2008 la cual realizaron un pretratamiento a la paja de arroz con una dosis al 6% reduciendo los componentes lignocelulósicos presentes en la pajilla (p. 2777).

Potencial bioquímico de metano

Para determinar la dosis óptima de sustratos agropecuarios para la producción de biogás, se empleó distintas cantidades de mezclas de sustrato agropecuario, asimismo se realizaron pruebas en donde se empleó un solo sustrato (figura. 12), la dosis que muestra mayor producción de metano es la mezcla 50% EO / 50% PAT, en comparación con la mono digestión, donde producción neta de la dosis con 100 % EO es la más baja con 667.93 ml CH₄. La dosis 70 % EO / 30% PAT y la dosis 30% PAT / 70% EO presentan una producción casi similar con 1044.03 ml CH₄ y 1164.97 ml CH₄. Los resultados obtenidos mediante la co digestión anaeróbica, previo tratamiento, comprueban lo indicado por Wellinger, Murphy y Baxter, cuando dos o más sustratos se mezclan el proceso anaeróbico se incrementa el rendimiento del biogás (2013, p.88)

Se aplico el modelo logístico, exponencial y el de Gompertz sobre los resultados experimentales de producción de biogás para estimar los parámetros del proceso de co – digestión y mono digestión anaeróbica presentados en las tablas 18, 19, 20, 21 y 22. En cuanto a la producción de biogás a diferencia de Vats, Khan y Ahmad, 2019, la cual aplicaron los mismos modelos en su estudio, el modelo logístico fue el que presento un coeficiente de correlación más alto para las cinco dosis (100% PAST = 0.871, 100EO%= 0.568, 50%EO/50%PAT= 0.763, 30%EO/70%PAT= 0.604 y 70%PAT/30%EO=0.934), este modelo explica una mayor variabilidad del volumen de biogás que se produce.

VI. CONCLUSIONES

El pretratamiento alcalino con hidróxido de sodio con una dosis al 10% presento mayor reducción de lignina, holocelulosa, celulosa y hemicelulosa con un 17.03%, 20.97%, 12.61% y 8.36% respectivamente, en comparación con la dosis al 8%, la cual indica mayor eficiencia para la aceleración de la co – digestión anaeróbica.

El proceso de co – digestión anaeróbica que presento mayor eficiencia en comparación con la mono – digestión, la mezcla óptima de sustratos agropecuarios que se debe emplear para la producción de biogás, es aquella compuesta por 50 % de paja de arroz pretratada (PAT) con 50 % estiércol de ovino (EO) con una producción de 1801.5 ml CH₄. Mientras que la mezcla de menor eficiencia es la 100% de estiércol ovino con una producción máxima de metano 667.93 ml CH₄.

La actividad metanogénica del lodo anaeróbico empleado en el proceso de biodegradación es 0.8776 g DQO / g SSV * día, la cual se ubica en el rango aceptable citado en la literatura (0.4 – 1.2), por lo que se puede concluir como como un inóculo óptimo para el proceso de biodegradación.

De los tres modelos comparados se ha encontrado que el Logístico es el más apropiado para modelar la producción de biogás, para cada uno de sustratos estudiados. A dicha conclusión lleva la interpretación de R². Asimismo, la dosis 30 % estiércol de ovino con 70% de paja de arroz tratada presento un R² más alto (0.934), la cual indica un 93.4% de variabilidad del volumen de biogás.

VII. RECOMENDACIONES

- Para emplear la paja de arroz en el proceso anaeróbico estudiado se recomienda realizar el pretratamiento alcalino con hidróxido de sodio, ya que permite reducir los componentes lignocelulósicos presentes en la paja de arroz, lo que a su vez contribuye con la aceleración de la hidrólisis, siendo esta la fase limitante del proceso de biodegradación para residuos lignocelulósicos.
- Se recomienda emplear mezclas 50% estiércol de ovino / 50% paja de arroz tratada para la co - digestión anaeróbica a mayor escala a temperatura mesofílica (35 °C) en la ciudad de Camaná. Asimismo, se recomienda emplear la relación inóculo/sustrato 0.5 para reactores continuos.
- Se recomienda evaluar más dosis con una relación 50% EO/50% PAT con el fin de ajustar modelo de Logístico empleando paja de arroz tratada con estiércol de ovino.

REFERENCIAS

1. AGUILAR-VIRGEN, Q.; ARMIJO-DE VEGA, C. y TABOADA-GONZÁLEZ, P. El potencial energético de los residuos sólidos municipales. Ingeniería, [en línea]. Febrero 2009 [Fecha de consulta: 17 de diciembre de 2019]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/467/46713055006.pdf>
ISSN: 1665-529X
2. AL SEADI, Teodorita et al. biogas handbook. Dinamarca: University of Southern Denmark Esbjerg, 2008.
IBSN: 978-87-992962-0-0
3. ALONSO, Rocío, DEL RÍO, Rosario y GARCÍA, Montserrat. Thermophilic and mesophilic temperature phase anaerobic co-digestion (TPAcD) compared with single-stage co-digestion of sewage sludge and sugar beet pulp lixiviation. *Biomass and Bioenergy* [en línea]. Mayo 2016, vol. 93 [Fecha de consulta: 02 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953416301829>
ISSN: 0961-9534
4. ANGELIDAKI, Irini [et al.]. Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays. [en línea]. IWA: Londres [fecha de consulta: 18 de noviembre 2018] 2009 disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/3d7f/978bf42ca85b5b0f626606dd4e8ae72de302.pdf>
5. APHA, AWWA, y WEF. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. 17. a ed. Madrid: Diaz de santos S.A. 1992.
ISBN: 978-84-7978-031-9
6. CÁRDENAS, Lina, [et al.]. Perspectivas del ensayo de Potencial Bioquímico de Biogas-PBM para el control del proceso de digestión anaerobia de residuos [en línea]. Colombia: Revista Ion, 10 (1). Enero, 2016 [fecha de consulta: 15 de febrero 2019]. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/journal/3420/342046466009/html/>
ISSN: 0120-100X

7. CENSO NACIONAL DE ARROZ En molinos, almacenes y comercios mayoristas 2019 [en línea]. Lima: MINAGRI. Mayo, 2019 [fecha de consulta: 27 de setiembre 2019]. Disponible en: <https://www.dramdd.gob.pe/iv-censo-nacional-de-arroz-en-molinosalmacenes-y-comercios-mayoristas-2019/>
8. CONTRERAS, Luz, PEREDA, Lleana y ROMERO, Osvaldo. Aprovechamiento energético de residuos arroceros por bio-conversión. caso de estudio cuba [en línea]. Bilbao: Dina energía y sostenibilidad. Julio, 2012, no. 1. [Fecha de consulta: 10 de setiembre de 2018]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/335752982_APROVECHAMIENTO_EN_ERGETICO_DE_RESIDUOS_ARROCEROS_POR_BIO-CONVERSION_CASO_DE_ESTUDIO_CUBA_Tecnologia_Energetica_APROVECHAMIENTO_ENERGETICO_DE_RESIDUOS_ARROCEROS_POR_BIO-CONVERSION_CASO_DE_ESTUDIO_CUBA
ISSN: 2254 – 2833.
9. CONTRERAS, Luz. Digestión anaerobia de residuos de la agroindustria arroceras cubana para la producción de biogás. Santa Clara: Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, 2013. 139 pp.
10. D.S. N° 014 – MINAM. Diario oficial El Peruano, Lima, Perú, 21 de diciembre del 2017. 27 – 28 pp.
11. El Perú y el Cambio Climático Tercera Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático [en línea]. Lima: MINAM. Abril, 2016. Disponible en: <http://bvs.minsa.gob.pe/local/MINSA/3688.pdf>
12. Fondo Sectorial de Investigación en materia Agrícola, Pecuaria, Acuicultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenéticos. [en línea]. México: SAGARPA. Julio, 2010 [fecha de consulta: 11 de setiembre 2018]. Disponible en: <http://docplayer.es/50187778-Fondo-sectorial-de-investigacion-en-materia-agricola-pecuaria-acuicultura-agrobiotecnologia-y-recursos-fitogeneticos.html>
13. GONZÁLEZ, Erika, JURADO, Paula. Sustratos y producción de biogás en biodigestores. Una revisión sistemática. Ingeciencia, [en línea]. Agosto, 2017

[Fecha de consulta: 06 de setiembre de 2018]. Disponible en:
http://editorial.ucentral.edu.co/ojs_uc/index.php/Ingeciencia/article/view/2352
ISSN: 2500-929.

14. HE, Yanfeng, et al. Physicochemical characterization of rice straw pretreated with sodium hydroxide in the solid state for enhancing biogas production [en línea]. EEUU: Energy & Fuels, Marzo 2008, vol. 22, no 4. [Fecha de consulta: 15 de enero de 2019]. Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/228649992_Physicochemical_Characterization_of_Rice_Straw_Pretreated_with_Sodium_Hydroxide_in_the_Solid_State_for_Enhancing_Biogas_Production
ISSN: 1520 - 5029
15. HERNANDEZ, Roberto. Metodología de la Investigación. México: Interamericana editores s.a., 2014.
ISBN: 9781456223960
16. HIDALGO, D., MARTÍN-MARROQUÍN, J. y CORONA, F. The effect of feed composition on anaerobic co-digestion of animal-processing by-products. *Journal of environmental management* [en línea]. Junio 2018, vol. 216 [Fecha de consulta: 02 de agosto de 2019]. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479717306096>
ISSN: 0301-4797
17. KOUAS, Mokhles [et al.]. Modeling the anaerobic co-digestion of solid waste: From batch to semi-continuous simulation. *Bioresource technology* [en línea]. Noviembre 2018, vol. 274 [Fecha de consulta: 15 de abril de 2019]. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852418315980>
ISSN: 0960-8524
18. KUMARI, Khushboo[et al.]. Anaerobic co-digestion of different wastes in a UASB reactor. *Waste management* [en línea]. Mayo 2018, vol. 77 [Fecha de consulta: 17 de julio de 2019]. Disponible en:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X1830299X>
ISSN: 0956-053X

19. LEE, Eunyoung [et al.]. Biogas production from high solids anaerobic co-digestion of food waste, yard waste and waste activated sludge. *Waste Management* [en línea]. Junio 2019, vol. 95 [Fecha de consulta: 12 de julio de 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X19304222>
ISSN: 0956-053X
20. LI, Jiang [et al.]. Semi-continuous anaerobic co-digestion of dairy manure with three crop residues for biogas production. *Bioresource Technology* [en línea]. Enero 2014, vol. 156 [Fecha de consulta: 02 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852414000893?>
ISSN: 0960-8524
21. LOBATO, Álvaro. Estudio de la co-digestión anaerobia de residuos ganaderos con otros substratos agroindustriales. Tesis (grado de doctor químico), León: Universidad de León, 2012. Disponible en: https://buleria.unileon.es/bitstream/handle/10612/2241/tesis_08feb2.PDF?sequence=1
22. LÓPEZ, Itzel. Programa de mantenimiento de equipo de laboratorios de tecnología de alimentos y dietología, 2012. [Fecha de consulta: 29 de noviembre de 2018]. Disponible en: <https://www.uv.mx/nutri-xal/files/2013/02/PROGRAMA-DE-MANTENIMIENTO-LAB.pdf>
23. MARTÍNEZ, Carlos y GARCÍA, Yaser. Utilización de pre-tratamientos básicos y específicos para la producción de biogás. Revisión y análisis [en línea]. *Revista de Ciencias y Técnicas Agropecuarias*. Setiembre 2016, vol. 25, no 3 [Fecha de consulta: 09 de marzo de 2019] Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2071-00542016000300009
ISSN: 2071 – 0054
24. Norma Oficial Mexicana NOM-021. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales, D.F. México, 31 de diciembre del 2002.
25. Norma TAPPI – 222. Acid-insoluble lignin in wood and Pulp. 16 de junio del 2006
26. NATIONAL GEOGRAPHIC. ¿Qué son las energías renovables?. [Fecha de consulta: 30 de noviembre de 2022]. Disponible en:

<https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2022/11/que-son-las-energias-renovables>

27. Agencia agraria de noticias [Fecha de consulta: 20 de febrero de 2015].. Disponible en: <https://agraria.pe/index.php/noticias/uso-de-fertilizantes-sobrepasara-los-200-millones-de-tonelad-7682>
28. Organización Panamericana de la Salud. Manual de mantenimiento para equipo de laboratorio. Washington D.C., 2015. [Fecha de consulta: 30 de noviembre de 2018]. Disponible en: http://www.exactas.unlp.edu.ar/uploads/docs/manual_de_mantenimiento.pdf
29. PARRA, Ricardo (2015). Digestión anaeróbica: mecanismos biotecnológicos en el tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la industria alimentaria [en línea]. *Producción + Limpia*. Diciembre 2016, vol. 10, no 2. [Fecha de consulta: 20 de agosto de 2019]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-04552015000200014&script=sci_abstract&tlng=es
ISSN: 1909 – 0455
30. PINOS-RODRÍGUEZ, Juan M., et al. Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia* [en línea]. Junio 2012, vol. 46, no 4, p. 359-370 [Fecha de consulta: 20 de noviembre de 2019]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000400004
ISSN: 2521 – 9766.
31. POHL, Marcel; SÁNCHEZ-SÁNCHEZ, Maria; MUMME, Jan. Anaerobic digestion of wheat straw and rape oil cake in a two-stage solid-state system. *Renewable Energy* [en línea]. Abril, 2019, vol. 141 [Fecha de consulta: 14 de abril de 2019]. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096014811930504X>
ISSN: 0960-1481
32. Protección y conservación del ambiente. [en línea]. Lima: INEI, 2016. [fecha de consulta: 13 de setiembre 2018]. Disponible en:

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1417/14.pdf

33. RASTROJOS DE CULTIVOS Y RESIDUOS FORESTALES. Programa de transferencia de prácticas y alternativas al uso del fuego en la región del Biobío. [en línea]. Chile, 2015: INIA. Mayo, 2015. [fecha de consulta: 10 de setiembre 2018]. Disponible en: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR40196.pdf>
34. REYES, Edwin. Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos [en línea]. *Revista Científica de FAREM-Estelí*. Enero 2017, n.o 24. [Fecha de consulta: 09 de setiembre de 2018]. Disponible en: <https://www.lamjol.info/index.php/FAREM/article/view/5552>
ISSN: 2305-5790.
35. ROMERO, Erick. [et al.]. Determinación de los principales componentes de la biomasa lignocelulósica; celulosa, hemicelulosa y lignina de la paja de trigo para su posterior pretratamiento biológico [en línea]. *Instituto de Ciencias Agrícolas UABC, Mexicali, Baja California, México*. [Fecha de consulta: 09 de setiembre de 2018]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/282365664_Determinacion_de_los_principales_componentes_de_la_biomasa_ligonocelulosica_celulosa_hemicelulosa_y_lignina_de_la_paja_de_trigo_para_su_posterior_pretratamiento_biologico
ISSN: 978-0-9908236-1-2
36. VARNERO, María. Manual de biogás. En su: Proceso de biodigestión. Santiago de Chile: Proyecto CHI/00/G32. 2011.
37. VATS, Neelam; KHAN, Abid Ali y AHMAD, Kafeel. Anaerobic co-digestion of thermal pre-treated sugarcane bagasse using poultry waste. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [en línea]. Julio 2019, p. 103323. [Fecha de consulta: 15 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343719304464>
ISSN: 2213-3437

38. VIVEKANAND, Vivekanand, et al. Synergistic effects of anaerobic co-digestion of whey, manure and fish ensilage. *Bioresource technology* [en línea]. 2018, vol. 249. [Fecha de consulta: 15 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852417317340>
ISSN: 0960-8524
39. WELLINDER, Arthur, MURPHY, Jerry y BAXTER, David. THE BIOGAS HANDBOOK. Woodhead Publishing: Reino Unido, 2013.
ISSN: 978-0-85709-741-5
40. ZAHAN, Zubayeda y OTHMAN, Maazuza Z. Effect of pre-treatment on sequential anaerobic co-digestion of chicken litter with agricultural and food wastes under semi-solid conditions and comparison with wet anaerobic digestion. *Bioresource technology* [en línea]. Enero 2019, vol. 281 [Fecha de consulta: 20 de julio de 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852419301622>
ISSN: 0960-8524
41. ZHENG, Zehui [et al.]. Effect of dairy manure to switchgrass co-digestion ratio on methane production and the bacterial community in batch anaerobic digestion. *Applied Energy* [en línea]. Mayo 2015, vol. 151 [Fecha de consulta: 02 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261915005413>
ISSN: 0306-2619

ANEXOS

ANEXO 1. Matriz de consistencia

"Producción de biogás a partir de sustratos agropecuarios, mediante la co - digestión anaeróbica a nivel laboratorio, Lima 2019"								
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	V.I	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medida
¿Qué mezcla de sustratos agropecuarios influye para obtener mayor producción de biogás, mediante la co - digestión anaeróbica?	Determinar la dosis óptima de sustratos agropecuarios para la producción de biogás mediante la co - digestión anaeróbica, Lima 2019.	La mezcla más adecuada de sustratos agropecuarios que se debe emplear para la producción de biogás mediante la co - digestión anaeróbica es 50 % de paja de arroz tratada (PAT) con 50 % estiércol de ovino (EO).	Sustratos agropecuarios	Los sustratos son aquellos residuos que derivan de las actividades agropecuarias, en el caso de ser mezclados dichos residuos proceso al que van a ser sometidos se denomina co - digestión (González y Jurado, 2017, p.45).	Para operacionalizar la variable se realizó un pretratamiento alcalino con hidróxido de sodio al 8% y 10 % a la paja de arroz, se medirá la eficiencia en base a los componentes lignocelulósicos	Pretratamiento alcalino a la paja de arroz	Lignina	%
							Celulosa	%
							Holocelulosa	%
Específicos	Específicos	Hipótesis Específicas	V.D	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medida
¿El pretratamiento alcalino con hidróxido de sodio al 10% influye en los componentes lignocelulósicos de la paja de arroz para la producción de biogás mediante la co – digestión anaeróbica?	Evaluar el efecto del pretratamiento alcalino en la paja de arroz para la producción de biogás, mediante la co – digestión anaeróbica.	El pretratamiento alcalino con hidróxido de sodio al 10% influye en los componentes lignocelulósicos de la paja de arroz para la producción de biogás mediante la co – digestión anaeróbica.	Producción de biogás	El biogás es una mezcla de gases siendo el metano el más importante de estos, debido a su capacidad calorífica (FNR, 2010, p. 31)	Para operacionalizar la variable, la paja de arroz pretratada con la mejor dosis se co – digirió con estiércol de ovino, en diferentes proporciones. Se optó la mejor mezcla en base al potencial bioquímico de metano (PBM). Asimismo, se obtuvo un modelo estadístico para predecir para predecir la producción de biogás.	Modelo	Producción potencial máxima	Adimensional
							Cociente de tasa máxima	Adimensional
¿Cuál será el modelo más adecuado para predecir la producción de biogás empleando sustratos agropecuarios mediante la co – digestión anaeróbica?	Determinar el modelo más adecuado para predecir la producción de biogás empleando sustratos agropecuarios	el modelo Logístico es el que mejor predice la producción de biogás empleando sustratos agropecuarios mediante la co – digestión anaeróbica	Producción de biogás	El biogás es una mezcla de gases siendo el metano el más importante de estos, debido a su capacidad calorífica (FNR, 2010, p. 31)	Para operacionalizar la variable, la paja de arroz pretratada con la mejor dosis se co – digirió con estiércol de ovino, en diferentes proporciones. Se optó la mejor mezcla en base al potencial bioquímico de metano (PBM). Asimismo, se obtuvo un modelo estadístico para predecir para predecir la producción de biogás.	Dosis	Posibilidad de producir biogás en base al sustrato	Adimensional
							100 % PAST	%
							30% EO / 70% PA	%
							50% EO / 50% PA	%
							70% EO / 30% PA	%
100% EO	%							

Fuente. *Elaboración propia*

ANEXO 2. CARACTERIZACIÓN DE SUSTRATOS

Determinación de sólidos volátiles (SV)

La determinación de sólidos volátiles del inoculo y los sustratos agropecuarios, se llevaron a cabo de acuerdo a la metodología de APHA, AWWA, y WEF (1992, pp. 87 – 88). Para ello se calcino capsulas de porcelana en una mufla a $550 \pm 50^\circ\text{C}$, previamente limpia durante una hora, luego de dichos procesos se secó las capsulas en un desecador, se midió el peso (W_1) de las capsulas en una balanza analítica. Seguidamente, se tomó una muestra de 30 gramos, de cada unidad de análisis, se tomó su peso (W_2), para luego secarlo en una estufa durante 1 hora a una temperatura entre $103 - 105^\circ\text{C}$, luego se calcino el residuo generado en la etapa anterior, durante 1 hora en una mufla a $550 \pm 50^\circ\text{C}$. culminado el proceso de calcinación se transfirió la capsula a un desecador (W_4). El porcentaje se determinó mediante la ecuación 3.



Figura 14. Sólidos totales y sólidos volátiles

Determinación carbono orgánico

Se determino la concentración de carbono orgánico mediante el método Walkley y Black detallado en la norma oficial mexicana 021 - RECNAT (2002, p. 18). Las muestras pasaron por un tamiz de 0.5 mm, luego se pesó 0.5 gramos y se colocaron en un matraz de 500 ml. Seguidamente se adiciono 10 ml de dicromato de potasio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) al 1 N, agitando el matraz para que entre en contacto con las muestras, luego se agregó mediante una bureta 20 ml de ácido sulfúrico concentrado, se agito el matraz durante un

minuto, dejando reposar por 30 minutos. Culminado el tiempo se agregó 20 ml de agua destilada y 5 ml de ácido fosfórico concentrado. Posteriormente se adiciono 5 gotas de indicador de difenilamina. Luego se tituló con sulfato ferroso hasta que la muestra viro a un verde claro. El porcentaje se determino mediante la ecuación 4.

Determinación de pH

El pH y la conductividad eléctrica de los sustratos e inóculo se determinó de acuerdo a la norma oficial mexicana 021 - RECNAT (2000, p. 12). Se peso 10 gramos de las muestras por separado en vasos precipitados, luego se agregó 20 ml de agua destilada a los recipientes que contenían las muestras. Por intervalos de 5 minutos durante 30 minutos se agito con una varilla de vidrio la mezcla muestra: agua dejando reposar por 15 minutos. Se utilizo un multiparámetro HANNA, dicho equipo se procedió a calibrar con tres soluciones reguladoras (pH 4.00 ,7.00 y 10.00). Primero, se lavó el electrodo con agua destilada, para que no se genere ningún tipo de alteración en el proceso de calibración. Se inicio a calibrar con la solución reguladora pH 4.00, se continuó la solución pH 7.00 y por último con la solución pH 10. Culminado la verificación se enjuago el electrodo antes de la medición. Se agito nuevamente las muestras contenidas en los recipientes y se introdujo el electrodo registrando el pH al momento en que se estabilizo la lectura.



Figura 15. Potencial de hidrogeno

ANEXO 3. Determinación de componentes lignocelulósicos

El análisis de los componentes lignocelulósicos se realizó en el laboratorio de servicios de análisis químicos (LASAQ) de la Universidad Nacional Agraria La Molina, se llevó a cabo el siguiente procedimiento.

Previo a la determinación de los componentes lignocelulósicos Se secó la paja de arroz pretratada en la estufa a una temperatura de 105 °C. En la balanza analítica se pesó 5 gramos de muestra seca (fig. a), empaquetando en un papel filtro. Se colocó el cartucho en el aparato soxhlet (fig. b). Se agregó éter petróleo hasta que una parte del mismo sea sifoniado hasta el matraz (fig. c). Seguidamente se conectó la cocinilla. El éter petróleo al calentarse se evapora y asciende hacia la parte superior del cuerpo donde se condensa por refrigeración con agua, vertiéndose sobre la muestra, regresando posteriormente al matraz por el sifón arrastrando consigo mismo la grasa. la cantidad de gotas fue de 45 - 60 por minuto. El proceso duró tres horas (ver figura 16).

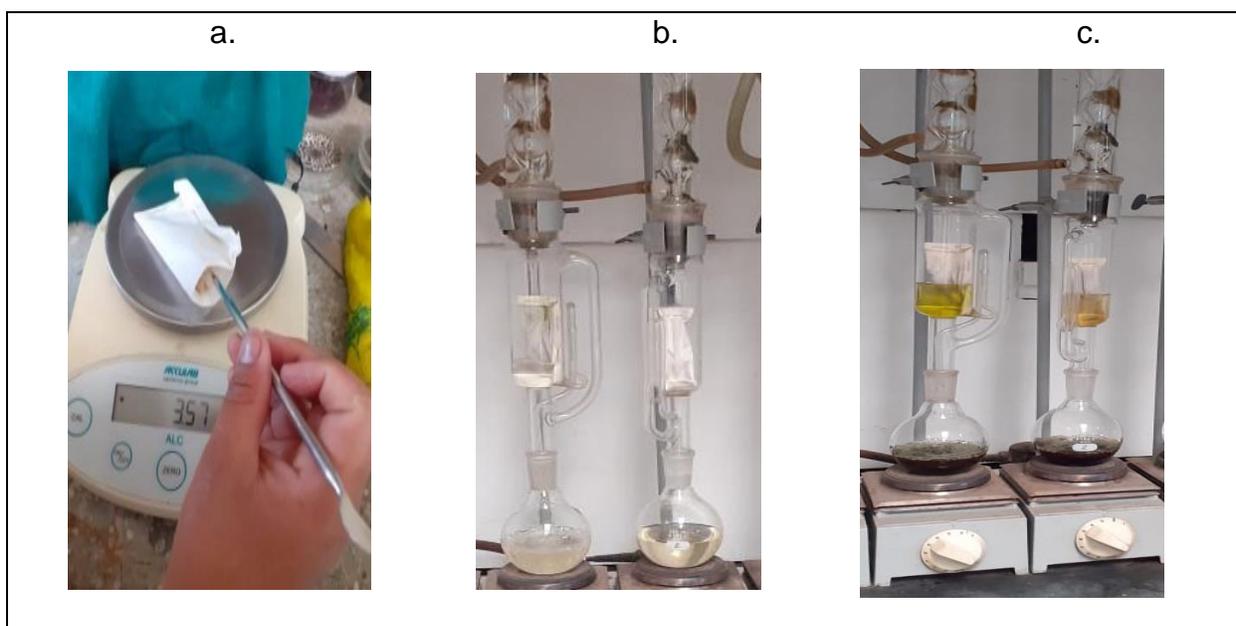


Figura 16. Preparación de muestras para componentes lignocelulósicos

Lignina

Para la determinación de lignina se llevó a cabo de acuerdo al método de Klason (ver figura 11), especificado en la norma TAPPI, 2006. Para ello se pesó 1 gramo de la muestra extractante (fig. a.). Seguidamente se le adicióno 15 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 72 % (fig. b.), se agito por 2 horas (fig. c.). Luego se adicióno 200 ml de agua destilada (fig. d). la muestra se hirvió durante 4 horas por reflujo (fig. e.). Se filtro y se secó a $105\text{ }^{\circ}C$ (fig. f). Para el cálculo de lignina se aplicó la ecuación 6.

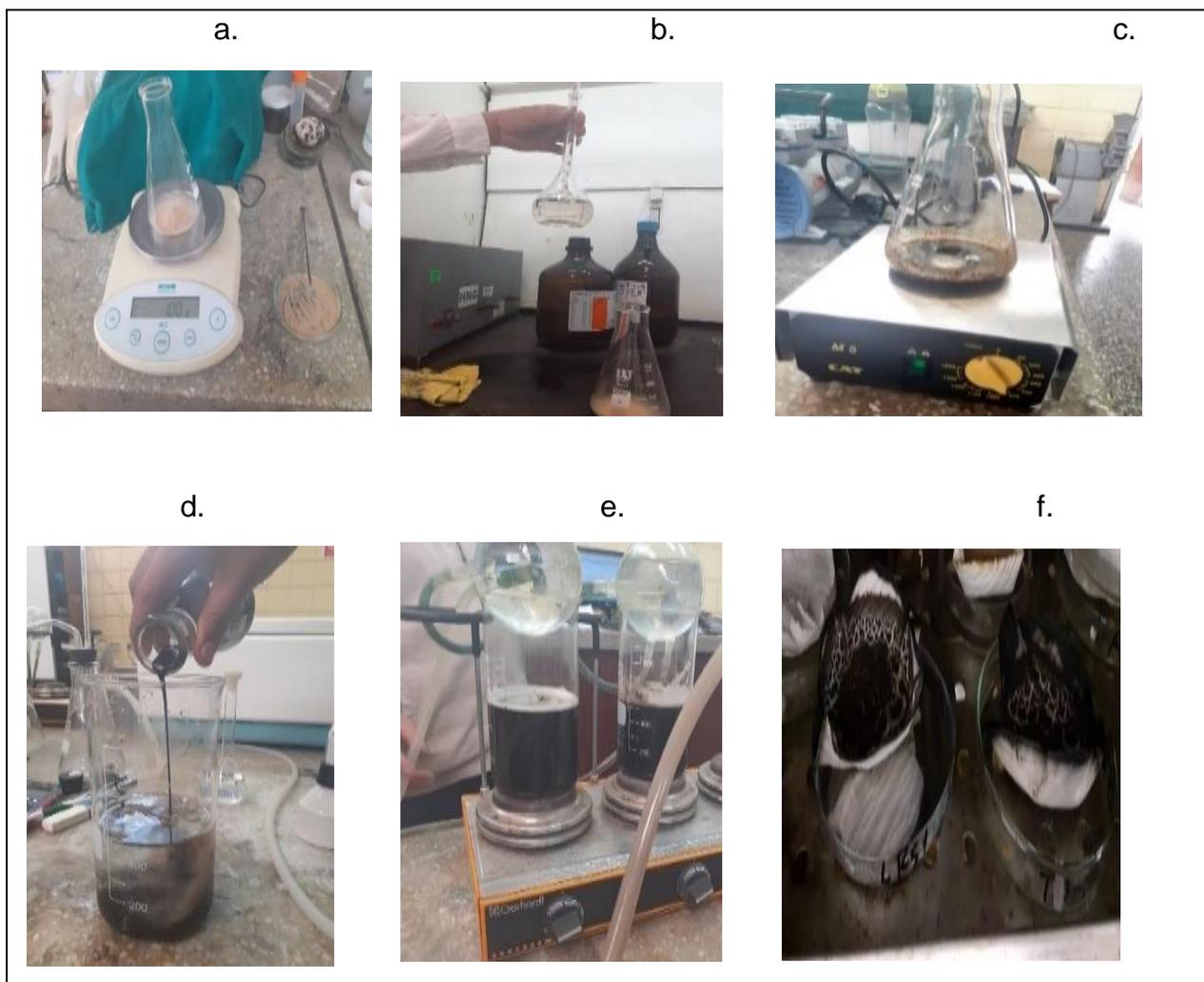


Figura 17. Procedimiento para determinación de lignina

Holocelulosa

Se determino la holocelulosa de acuerdo a la noma ASTM D-1104, detallado por Romero et al. Se peso 2 gramos de la muestra extractante y se depositó en un matraz Erlenmeyer (fig. a.). Se agrego 150 ml de clorito de sodio al 1.5 % (fig. b) y 10 gotas de ácido acético glacial (fig. c), se dejó en baño maría a 70 °C durante 1 hora. Culminado el tiempo se volvía adicionar 150 ml de clorito de sodio y 10 gotas de ácido acético glacial. El proceso se repitió 3 veces hasta que la muestra viro a blanco. Finalmente se filtró se lavó con agua destilada (fig. e) y se secó en una estufa a 105 °C (fig. e). El resultado se calculó aplicando la ecuación 8.



Figura 18. Procedimiento para determinación de holocelulosa

Celulosa

Se determinó la celulosa de acuerdo a lo detallado por Romero et al. Se peso 1 gramo de muestra en un matraz de 250 ml (fig. a). Luego se adiciono 10 ml de hidróxido de sodio al 17.5 % (fig. b), la muestra se agito por 5 minutos (fig. c), transcurrido el tiempo se adiciono al matraz 5 ml de NaOH al 17.5 % y se agito durante 1 hora. Después se realizó tres filtrados, en el primero se filtró la muestra que se retiró del agitador se lavó con 30 ml de agua destilada más 25 ml de NaOH al 17.5% (fig. d). Posteriormente, la muestra se agregó 15 ml de ácido acético se agito durante 3 minutos y se procedió a filtrar (fig. e). Finalmente, la muestra más el papel Whatman previamente pesado (fig. f), Se llevó a la estufa a 105 °C (fig. g). El resultado se calculó aplicando la ecuación 7.

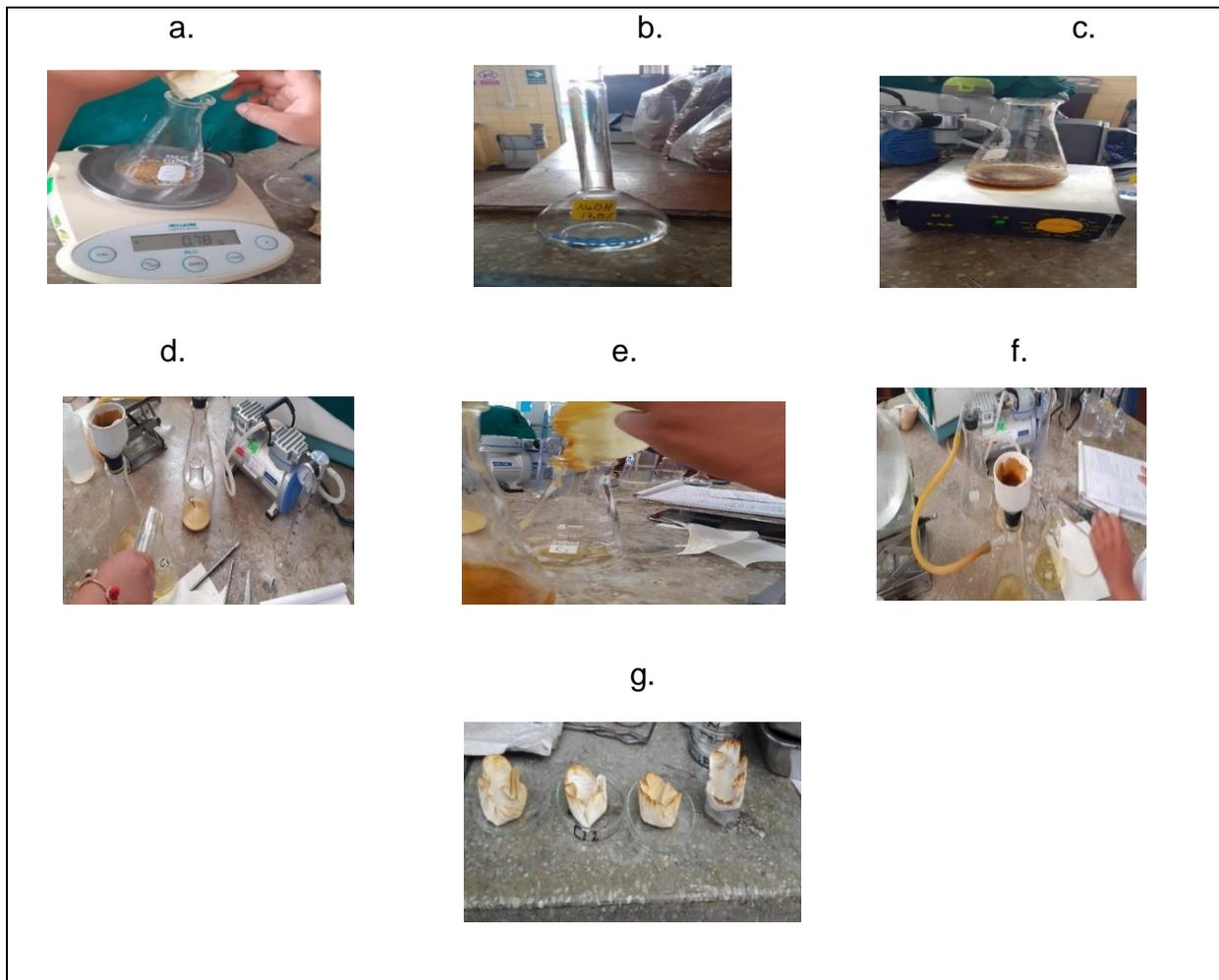
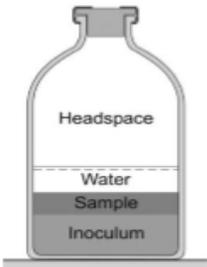


Figura 19. Procedimiento para determinación de celulosa

ANEXO 4. Proporciones establecidas para la el ensayo

EXPLICACIÓN	
<p>Tenemos: Volumen total (VT): 500 ml Volumen útil (VU): 90% * VT Fase de almacenamiento de gas: 10 % * VT Inoculo: 10% * VU Aplicando: Fase de almacenamiento de gas: 50 ml Volumen útil (VU): 450 ml Inoculo: 45 ml</p>	 <p style="text-align: center;"><i>Fuente. Angelidaki, 2009</i></p>
Volumen total del reactor	500 ml
Volumen útil del reactor	450 ml
Inóculo	45 ml (10 % volumen útil)
Volumen que ocupan los sustratos	
100 % volumen restante	405 ml
70% volumen restante	283.5 ml
30 % volumen restante	121.5 ml
50 % volumen restante	202.5 ml
Blanco	
50 % volumen útil	225 ml

Fuente. Adaptación de García y Pérez, 2012

ANEXO 5. Certificación de análisis a estiércol de ovino



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : ERICK RICARDO JACOBO UBIERNA
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LA MOLINA
MUESTRA DE : ESTIÉRCOL DE OVINO
REFERENCIA : H.R. 70367
BOLETA : 3626
FECHA : 24/10/19

N° LAB	CLAVES	N %	C %	Relación C/N
1073	-	1.90	21.09	11.08

Metodologías empleadas:

- Nitrógeno: Método de Kjeldahl
- Carbono orgánico: Método de Walkley y Black o del Dicromato de Potasio, oxidación del carbono orgánico con Dicromato de Potasio



Ing. Esteban La Torre Martínez
Jefe de Laboratorio

ANEXO 6. Certificación de análisis al inóculo



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : ERICK RICARDO JACOBO UBIERNA
PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ RÍMAC/ CITRAR - UNI
MUESTRA DE : INÓCULO
REFERENCIA : H.R. 70366
BOLETA : 3626
FECHA : 29/10/19

N° LAB	CLAVES	N %	C %	Relación C/N
1072		2.78	29.72	10.70

Metodología empleada:

- Nitrógeno: Método de Kjeldahl.
- Carbono orgánico: Método de Walkley y Black o del Dicromato de Potasio, oxidación del carbono orgánico con Dicromato de Potasio.



Ing. *Basilio La Torre Martínez*
Jefe de Laboratorio

ANEXO 7. Certificación de análisis a la paja de arroz sin tratar



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA
LABORATORIO DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO (LASAQ)



INFORME DE ENSAYOS LASAQ N°42C-2019-DQ

SOLICITANTE : Erick Ricardo Jacobo Ubiana
PRODUCTO DECLARADO : Paja de arroz sin tratado
NÚMERO DE MUESTRAS : 1
CANTIDAD RECIBIDA : 30 g
MARCA : sin marca
FORMA DE PRESENTACIÓN : En bolsa de plástico
MUESTREO POR : Muestra proporcionada por el solicitante.
FECHA DE RECEPCIÓN : 10 de Octubre del 2019
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADO: 08 de Noviembre del 2019
ENSAYOS SOLICITADOS : RELACION: CARBONO/NITROGENO

ENSAYO	RESULTADOS	
Carbono (%MS)	44.01	44.79
Nitrógeno (%MS)	1.27	1.17
Relación C/N	34.65	38.28

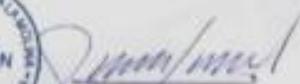
MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:

- 1.- BGR. II Bundesgesetzblatt 2001-Nr. 282 parte 1.1.3 (Por Cálculo)
- 2.- BGR. II Bundesgesetzblatt 2001-Nr. 282 parte 1.2
- 3.- BGR. II Bundesgesetzblatt 2001-Nr. 282 parte 1.1.4 (Por Cálculo)

Atentamente:


Mg. Sr. Diego Javier Flores
JEFE DEL LABORATORIO DE
ANÁLISIS QUÍMICO




Mg. Sr. Juan Carlos Palma
DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO
ACADÉMICO DE QUÍMICA

ANEXO 8. Certificación de análisis a la paja de arroz tratada



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA
LABORATORIO DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO (LASAQ)



INFORME DE ENSAYOS LASAQ N°42B-2019-DQ

SOLICITANTE : Erick Ricardo Jacobo Ubieta
PRODUCTO DECLARADO : Paja de arroz tratado
NÚMERO DE MUESTRAS : 1
CANTIDAD RECIBIDA : 30 g
MARCA : sin marca
FORMA DE PRESENTACIÓN : En botella de plástico
MUESTREO POR : Muestra proporcionada por el solicitante
FECHA DE RECEPCIÓN : 29 de Octubre del 2019
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADO : 08 de Noviembre del 2019
ENSAYOS SOLICITADOS : RELACION: CARBONO/NITROGENO

ENSAYO	RESULTADOS	
Carbono (%MS)	21.05	20.01
Nitrógeno (%MS)	0.41	0.65
Relación C/N	51.34	30.78

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:
1- BGM II. Metodogeschäft 2001-Nr. 292 parte 1.1.1 (Por Cálculo)
2- BGM II. Metodogeschäft 2001-Nr. 292 parte 1.2
3- BGM II. Metodogeschäft 2001-Nr. 292 parte 1.1.4 (Por Cálculo)

Atentamente:


Mg. Sr. Diego Suarez Rubio
JEFE DEL LABORATORIO DE
ANÁLISIS QUÍMICO




Mg. Sr. Juan Carlos Palma
DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO
ACADÉMICO DE QUÍMICA

ANEXO 9. Servicio de molienda



FUNDACIÓN PARA EL DESARROLLO AGRARIO
 A. Camilo Carrillo N° 325 - Jesús María - Lima - Lima

Punto de emisión: Av. La Molina s/n La Molina - Lima - Lima

Página Web: www.fidaweb.com

RUC: 20101259014
BOLETA DE VENTA ELECTRÓNICA
B171 - 00000712

Fecha: 10/10/2019
Identificación: DOC. NACIONAL DE IDENTIDAD
N° Identificación: 47655530
Nombre: ERICK RICARDO JACOBO UBERNA
Dirección: AV. HECTOR GARCÍA RIBEYRO 600 A.H. HUASCARAN-RIMAC-LIMA-LIMA

DESCRIPCIÓN	UNID.	CANTIDAD	PRECIO UMT.	IMPORTE
Servicio de prueba de molienda de papa deshidratada (boleta)	UNJ	1.00	160.00	160.00

SON: CIENTO SESENTA Y 00/100 SOLES						
TOTAL GRAVADA	TOTAL EXONERADA	TOTAL DUCTO.	VALOR VENTA	IMPUESTO	ISC	IMPORTE TOTAL
S/ 135.59	S/ 0.00	S/ 0.00	S/ 135.59	S/ 24.41	S/ 0.00	S/ 160.00

Autorizado mediante resolución N° 0320050000973 /SUNAT

2ba052CpdeFgmPwq00zVh3nc Puede descargar su comprobante desde el sitio: <http://consulta.fidaweb.com.pe>



ANEXO 10. Componentes lignocelulósicos de la paja de arroz tratada y sin tratar



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA
LABORATORIO DE SERVICIOS DE ANÁLISIS QUÍMICO (LASAQ)



INFORME DE ENSAYOS
LASAQ N°42A-2019-DQ

SOLICITANTE : Erick Ricardo Jacobo Ubiana
PRODUCTO DECLARADO : Paja de arroz triturada
NÚMERO DE MUESTRAS : 7
CANTIDAD RECIBIDA : 30 g por cada muestra
MARCA : sin marca
FORMA DE PRESENTACIÓN : En botellas de plástico
MUESTREO POR : Muestra proporcionada por el solicitante
FECHA DE RECEPCIÓN : 10 de Octubre del 2019
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADO : 08 de Noviembre del 2019
ENSAYOS SOLICITADOS : COMPONENTES LIGNOCELULÓSICOS

ENSAYO	RESULTADOS								
	PAT 10%	PAT 10%	PAT 10%	PAT 8%	PAT 8%	PAT 8%	PAST	PAST	PAST
<i>Humedad</i>	81.60%	81.03%	80.01%	81.52%	82.21%	80.02%	3.60%	4.50%	5%
<i>Extractivo</i>	22.47%	22.86%	11.96%	24.10%	17.89%	12.00%	7.32%	7.60%	6.90%
<i>Lignina</i>	22%	18%	4.10%	28%	26%	17.65%	40.60%	35%	29.5%
<i>Holocelulosa</i>	30%	22%	10.91%	31.82%	27%	17.81%	53.32%	41%	39%
<i>Celulosa</i>	15.05%	15.91%	6.87%	19.86%	23.52%	16.90%	44.50%	30%	29%
<i>Hemicelulosa</i>	14.95%	6.09%	4.04%	11.96%	15.91%	0.91%	8.82%	11%	10%
<i>Ceniza</i>	66%	65.50%	64.50%	61.50%	58.50%	59.50%	22.77%	23.70%	22.60%

MÉTODOS UTILIZADOS EN EL LABORATORIO:
 1.- BGSB II Bundesgesetzblatt 2001-Nr. 292 parte 3.8.2
 2.- ASTM American Society for testing and materials 1900 D 5142-00
 3.- BGSB II Bundesgesetzblatt 2001-Nr. 292 parte 3.1.3 (Por Cálculo)
 4.- BGSB II Bundesgesetzblatt 2001-Nr. 292 parte 3.2
 5.- BGSB II Bundesgesetzblatt 2001-Nr. 292 parte 3.1.4 (Por Cálculo)
 6.- NORMA A.S.T.A.C.D 1107-56. Determinación de extractivos
 7.- NORMA TAPP 1 222 en 74 método Klason
 8.- Método Lignin y Waz

Atentamente:



Mg. Sc. **Diego Suarez Rivera**
JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO



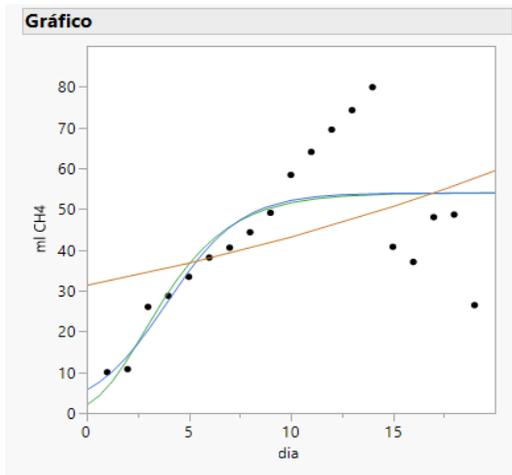


Mg. Sc. **Juan Carlos Palma**
DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE QUÍMICA

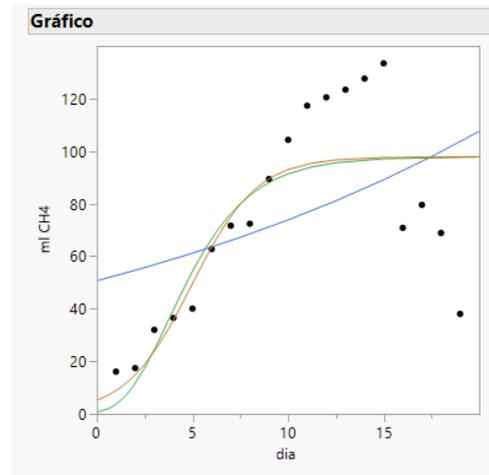
Departamento Académico de Química - Tlf: 6147800 Arequipa (305-307)
 Av. La Molina s/n La Molina Facultad de Ciencias (1er Piso)
 Email: dq@quimica.unal.edu.pe

ANEXO 11. Representación gráfica de los modelos

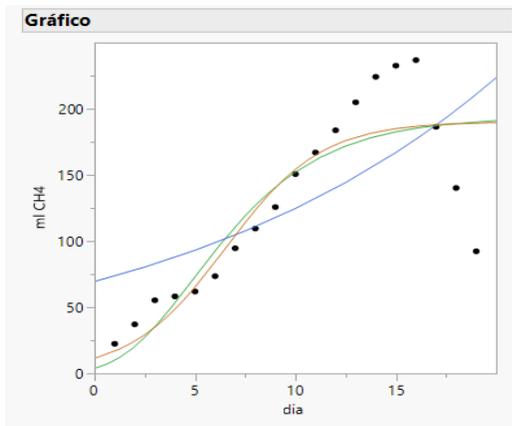
Dosis: EO 100%



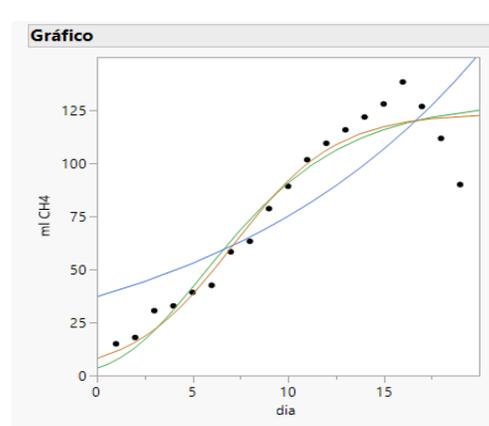
Dosis: 30%PAT/70%EO



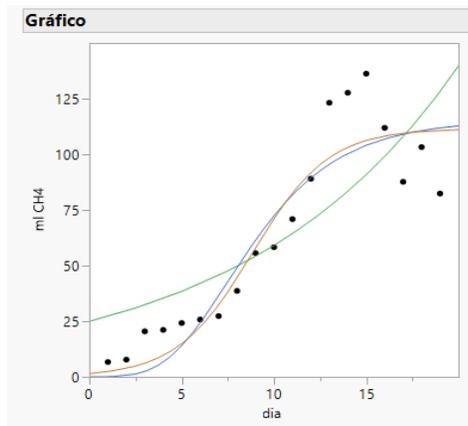
Dosis: 50%PAT/50%EO



Dosis: 70%PAT/30%EO



Dosis: PAST 100%



ANEXO 12. Instrumento de recolección de datos

DIAS	PAST 100%			Relación 70% EO/ 30% PAT			RELACION 50%EO/50%PAT			RELACION 30%EO/70%PAT			100%EO		
1	4	6.1	10	17	10.5	17.4	26	16.7	24.5	19	13.5	15.8	6.5	11.5	12
2	8	9.5	5.8	29	10	14.8	36.5	37	37.8	17	21	14.3	8	11.5	12.8
3	30.2	15.3	16	41	24.5	26.2	49.4	59	57.5	31	35	30	14.6	30	33.5
4	32	15.9	15.5	43.1	28.7	26.7	50	60	64.7	38	38.2	33.4	15	30.7	40.5
5	31.5	26.1	15.1	45.4	30.4	41.8	56.4	60.4	69	44	43.7	32.6	21.2	33.4	45.6
6	30.5	29.5	17.4	48.5	33.7	45.4	56.5	90.6	73.4	43.8	76.5	67.9	21.7	39.8	52.9
7	27.2	20.6	34.3	47	71.6	56.3	77.2	85.6	121	49.4	77.6	88	26.5	41.1	54.1
8	26.9	35.3	53.8	50.9	82.1	56.8	92.7	110	125.8	56.4	64.5	96.3	28.4	47.8	56.8
9	27	47	92.9	73.2	97	65.7	101.3	123.3	152.7	90.6	70.2	107.4	33.5	47	66.8
10	29.2	59.5	86.3	76	111.8	79.7	127	144.8	180.2	102.2	85.1	125.7	37.3	61.5	76.4
11	22	70.8	120	78.4	121	105.6	135	167.2	198.7	120.4	90	141.5	44	63.8	84.3
12	66	76.7	124.5	89.6	127.7	111	146.5	190.8	214	123.2	100.8	137.5	52.3	68.2	88
13	109	118.5	142.1	94.7	128.9	123.7	181	213.1	220.7	123.5	104	142.7	59	69.9	93.9
14	119.9	105	158.2	99.9	132.8	132.7	198.1	239.3	235.2	133.9	105.8	143.2	71.1	72.2	96.4
15	117.4	126.4	165	97.4	141	145.5	208.8	243.5	245.6	139.8	113.2	147.3	32	39.3	51

	Q	R	S	T	U
	PAST 100%	Relación 70% EO/ 30% PAT	RELACION 50%EO/50%PAT	RELACION 30%EO/70%PAT	100%EO
2	6.70	14.97	22.40	16.10	10.00
8	7.77	17.93	37.10	17.43	10.77
5	20.50	30.57	55.30	32.00	26.03
5	21.13	32.83	58.23	36.53	28.73
6	24.23	39.20	61.93	40.10	33.40
9	25.80	42.53	73.50	62.73	38.13
1	27.37	58.30	94.60	71.67	40.57
8	38.67	63.27	109.50	72.40	44.33
8	55.63	78.63	125.77	89.40	49.10
4	58.33	89.17	150.67	104.33	58.40
3	70.93	101.67	166.97	117.30	64.03
8	89.07	109.43	183.77	120.50	69.50
9	123.20	115.77	204.93	123.40	74.27
4	127.70	121.80	224.20	127.63	79.90
1	136.27	127.97	232.63	133.43	40.77
	833.30	1044.03	1801.50	1164.97	667.93