

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

Producción de biogás, biol y biomasa a partir de residuo orgánico, (*Azolla pinnata*) e inóculos de cuy y vacuno mediante biodigestor anaerobio en el barrio Santa Ana en el departamento de Ayacucho

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Edgar Palomino Arango

Jimmy Quispe Pizarro

Nelson Oloya Sanchez

Asesor:

Mag. Joel Hugo Fernandez Rojas

Lima, 25 de julio del 2022

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS

Mg. Ing. Joel Hugo Fernandez Rojas, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“Producción de biogás, biol y biomasa a partir de residuo orgánico, (*Azolla pinnata*) e inóculos de cuy y vacuno mediante biodigestor anaerobio en el barrio Santa Ana en el departamento de Ayacucho”** constituye la memoria que presenta el (la) / los Bachiller(es) (**Oloya Sanchez Nelson Marino, Quispe Pizarro Jimmy Alfredo, Palomino Arango Edgar**) para obtener el título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 21 días del mes de abril del año 2021.



Joel Hugo Fernandez Rojas

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **25 días** día(s) del mes de **julio** del año 2022 siendo **las 08:30 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio**, el secretario: **Ing. Orlando Alan Poma Porras**, y los demás miembros: **Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga y la Ing. Nancy Curasi Rafael**, y el asesor, **Mg. Joel Hugo Fernández Rojas**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Producción de biogás, biol y biomasa a partir de residuo orgánico, (Azolla pinnata) e inóculos de cuy y vacuno mediante biodigestor anaerobio en el barrio Santa Ana en el departamento de Ayacucho"

de el(los)/la(las) bachiller/es: a) **NELSON MARINO OLAYA SANCHEZ**

..... b) **JIMMY ALFREDO QUISPE PIZARRO**.....

.....c) **EDGAR PALOMINO ARANGO**.....

conducente a la obtención del título profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**

(Nombre del Título
profesional)

con mención
en.....
.....

El presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)/s. Luego, se produjo un Oreceso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): **NELSON MARINO OLAYA SANCHEZ**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	18	A-	MUY BUENO	SOBRESALIENTE

Candidato (b): **JIMMY ALFREDO QUISPE PIZARRO**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	18	A-	MUY BUENO	SOBRESALIENTE

Candidato (c): **EDGAR PALOMINO ARANGO**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	18	A-	MUY BUENO	SOBRESALIENTE

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.



Presidente
Mg. Jackson Edgardo
Perez Carpio

Secretario
Ing. Orlando Alan
Poma Porras



Asesor
Mg. Joel Hugo
Fernandez Rojas

Miembro
Mg. Milda Amparo
Cruz Huaranga

Miembro
Ing. Nancy Curasi
Rafael



Candidato/a (a)
Nelson



Candidato/a (b)
Jimmy



Candidato/a (c)
Edgar

Producción de biogás, biol y biomasa a partir de residuo orgánico, (*Azolla pinnata*) e inóculos de cuy y vacuno mediante biodigestor anaerobio en el barrio Santa Ana en el departamento de Ayacucho

Palomino Arango Edgar¹, Quispe Pizarro Jimmy Alfredo², Oloya Sanchez Nelson Marino³ Hugo Fernandez⁴

¹²³⁴Universidad Peruana Unión, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, E.P.Ingeniería Ambiental, Lima – Perú

Resumen

La acumulación y manejo inadecuado de los residuos orgánicos, es una de las causas de contaminación ambiental, por lo que éstos, son arrojados a las fuentes sin ser tratados, por ello el objetivo fue evaluar la producción de biogás, biol y biomasa en biodigestores anaerobios, como una alternativa de tratamiento sostenible orgánico, el diseño de investigación fue el bloques completamente al azar, siendo 3 tratamientos con 3 repeticiones: **T1** = 10 kg Residuo orgánico + 6 kg de azolla sp + 1 kg de estiércol de cuy y vacuno, **T2** = 6 kg Residuo orgánico + 3 kg de azolla sp + 1 kg de estiércol de cuy y vacuno, **T3** = 4 kg Residuo orgánico + 1 kg de estiércol de cuy y vacuno reincorporado 4 kilos de rumen vacuno como inóculo, donde se controló la temperaturas con un promedio de 52 °C y Ph 7.4. El rendimiento se cuantificó el peso de biogás almacenado, el volumen de biogás se midió por el método del desplazamiento, y para la presión se calculó con la ley de gases ideales $PV=NRT$; para el biol y biomasa se analizaron los de nutrientes en laboratorio. El rendimiento de biogás de **T1**, obtuvo un peso de 17.33 gr. Un volumen (12.6 lt), y una presión de (2.06 atm) que fue superior al **T2** y **T3**. En composición de nutrientes de biol y biomasa el **T1** durante el proceso obtuvo C.E(4.06 ppm) N.(191.3 ppm) PO₂(51.33 ppm) Y K₂O (480 ppm) Ca 2350000 ppm Mg 5500000 ppm, siendo superior al **T2** y **T3**. El **T1** ha tenido mayor rendimiento, esto debido a que tuvo incorporada el helecho acuática fijadora de nitrógeno azolla sp .

Palabras clave: *Digestión anaerobia, residuos orgánicos, Azolla sp, biogás, biol, biomasa.*

Abstract

The accumulation and inadequate management of kitchen waste is one of the causes of environmental pollution, so these are thrown into the sources without being treated, for this reason the objective was to determine the production of biogas, biol and biomass in a biodigester anaerobic. By means of anaerobic digestion, as an alternative of organic sustainable treatment, biodigesters of three treatments with 3 repetitions are conditioned. Preparation for loading T1 = 10 kg Organic kitchen waste + 6 kg of Azolla sp + 1 kg of guinea pig and cattle manure T2 = 6 kg Organic waste + 3 kg of Azolla sp + 1 kg of guinea pig and cattle manure T3 = 4 kg Organic residue + 1 kg of manure from guinea pigs and reincorporated cattle 4 kilos of cattle rumen as inoculum, where temperatures were controlled at an average of 52 °C and Ph 7.4. The yield was quantified by the weight of biogas stored in the car chamber, the volume of biogas was measured by the displacement method, and for the pressure it was calculated with the ideal gas law $PV=NRT$ and for the biol and biomes they were taken to the laboratory for nutrient analysis. The biogas yield of T1 obtained a weight of 17.33 gr. A volume (12.6 lt), and a pressure of (2.06 atm) that was superior to T2 and T3. In biol nutrient composition, T1 during the process obtained C.E(4.06 ppm) N.(191.3 ppm) PO₂(51.33 ppm) and K₂O (480 ppm) Ca 2350000 ppm Mg 5500000 ppm, being superior to T2 and T3. The T1 has had more yield, due to the fact that it incorporates the nitrogen-fixing aquatic fern Azolla sp.

Keywords: *Anaerobic digestion, organic waste, Azolla sp, biogas*

INTRODUCCION

En el transcurso de estos últimos años, el uso de los combustibles fósiles incremento fuertemente, aumentando la emisión de gases que ocasionan el efecto invernadero.(Alexander & Diaz, 2019). Asimismo, miles de toneladas de residuos orgánicos

biodegradables son producidos cada año por los sectores agropecuarios, industriales y municipales en todo el mundo. (Hilbert, 2020). Estos residuos casi en su mayoría son dispuestos en rellenos sanitarios y otros son desechados a ríos o abandonados en botaderos cercanos a la población. (Cabrerá, 2021).

Esta investigación consta de utilizar una digestión anaerobia, como una alternativa de tratamiento sostenible, que permita contribuir de manera positiva al ambiente al uso de biogás, biocombustibles; también se obtiene sub-productos como biol y biosol abonos fuertemente potentes para el cultivo orgánico. Además, es importante destacar que la investigación en nuevos tipos de materia prima como (*Azolla sp*) para la producción de biogás incentivaría la implementación de biodigestores con sustratos diferentes al estiércol vacuno y contribuiría a proveer a más poblaciones alejadas a acceso a gas natural, (Martínez, 2020)

Por otra parte (Paez, 2019) menciona que la mejor calidad de biol y biosol son provenientes de la mezcla de materia orgánica en un biodigestor por ende el uso es muy considerable en cuanto al crecimiento y fortalecimiento de las plantas.

El biogás se produce a partir de la fermentación de la materia orgánica bajo ambientes anaeróbicas “ausencia de oxígeno” (Chorlango, 2021). El método anaeróbico ha sido considerablemente aprovechada por casi 200 años a nivel mundial, así como en lo industrial y doméstico, para la obtención de energía “metano” (Mamani et al., 2021)

La obtención de biogás se da desde 1930 en diferentes países desarrollados la cual ha sido un proceso normalizado para la transformación de PTAR “plantas de tratamiento de aguas residuales” (Sarabia Méndez et al., 2020); pero en los últimos 40 años se ha visto una escala más industrializada, con una eficiencia mucho mayor en particular en Norteamérica y Europa (Jara-Samaniego et al., 2021)

(Giubi et al., 2019) indica que la digestión anaerobia es una tecnología para el tratamiento de residuos orgánicos que no sólo permite dar solución a su manejo, sino que también permite reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. También ayuda aprovechar (mediante la producción de biogás) el potencial energético de los residuos y obtener un producto rico en nutrientes, útil como abono natural. (Acosta Rubio et al., 2021)

Según (Barrena Gurbillón et al., 2019) en los últimos años, ha habido un creciente interés por el biogás como alternativa a los combustibles fósiles ya que este es un recurso renovable conocido por satisfacer la demanda energética en términos de calor y electricidad. Después del proceso de obtención de biogás estos biodigestores tienen un sub producto como el biol y biosol que es un biofertilizante con el potencial de enriquecer los nutrientes al suelo para obtener alimentos orgánicos saludables (Gamboa Arenas, 2019)

Por todo ello nuestro objetivo es Determinar la producción de biogás, biol y biomasa en un biodigestor anaerobio. Por medio de la digestión anaerobia, como una alternativa de tratamiento sostenible orgánico, generados por los residuos domésticos incorporado con helecho acuático *Azolla sp*

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se realizará en los ambientes del barrio Santa Ana, ubicado en el distrito de Ayacucho, provincia de Huamanga y el departamento de Ayacucho, a una altitud de 2760 msnm, cuyas coordenadas geográficas son latitud 13° 9'18.68" sur y longitud 74°13'13.03"O oeste.

Características del clima

Para la determinación de las condiciones climáticas de la zona en estudio, se tomaron datos diarios de temperatura y precipitación a lo largo del experimento. Estas observaciones fueron registradas en la estación meteorológica de INIA-Ayacucho, que se encuentra a una altitud de 2756 msnm. Las características de temperatura y precipitación durante el periodo comprendido de junio 2017 a mayo de 2018 se presentan en la Tabla y gráficamente en la Figura 01 Durante este período la precipitación fue de 453.90 mm de lluvia con una mayor precipitación durante los meses de diciembre del 2017 y febrero del 2018.

Las condiciones de temperatura en promedio fueron de 25,57; 9,73; 17,65 °C para las temperaturas máximas, media y mínima, respectivamente.

Con los datos de precipitación y temperatura media se realizó un balance hídrico correspondiente, utilizando la metodología propuesta por la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN, 1976), pudiendo observar un exceso de humedad durante la precipitación en los meses de diciembre del 2017y febrero del 2018; y un déficit de humedad en el mes de junio, julio del 2017 y mayo del 2018 como muestra la tabla 1 y figura 1

Tabla 1. Temperatura máxima, media, mínima y balance hídrico correspondiente a la campaña agrícola 2017-2018, de la Estación Meteorológica de Canaán (SENAMHI)-Ayacucho

Distrito : Ayacucho **Altitud** 2756 msnm
Provincia : Huamanga **Latitud** 13° 10' 00.06" S
Departamento : Ayacucho **Longitud** 74° 12' 22.92" W

AÑO	Año 2017							Año 2018						
MESES	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	TOTAL	PROM
T° Máxima (°C)	25.11	25.13	25.61	26.17	26.06	26.63	24.57	26.76	24.30	24.83	25.93	25.72	306.80	25.57
T° Mínima (°C)	6.75	5.66	7.82	10.01	10.32	11.20	11.03	11.46	11.96	11.28	10.70	8.6	116.79	9.73
T° Media (°C)	15.93	15.40	16.71	18.09	18.19	18.91	17.80	19.11	18.13	18.05	18.31	17.16	211.79	17.65
i calor mensual	5.76	5.49	6.21	7.01	7.07	7.49	6.84	7.61	7.01	6.95	7.13	6.43		81.00
e	54.05	50.84	58.93	67.96	68.66	73.63	65.99	75.01	68.21	67.70	69.47	61.79		1.80
Factor(L)	0.94	0.97	1.00	0.99	1.06	1.05	1.10	1.09	0.97	1.04	0.97	0.98	12.16	12.16
ETP(mm)	50.70	49.42	58.81	67.55	72.50	77.45	72.45	81.91	65.89	70.41	67.67	60.43	795.20	0.57
kc	0.52	0.94	1.08	1.02	0.70	0.28	0.42	0.92	1.11	1.07	0.86	0.27		
ETC(mm)	26.37	46.45	63.52	68.90	50.75	21.69	30.43	75.36	73.14	75.33	58.20	16.32		
Precipitación (mm)	0.00	6.60	18.60	8.6	32.6	31.8	105.40	31.40	142.90	33.30	32.90	9.80	453.90	
H del suelo (mm)	-26.37	-39.85	-44.92	-60.30	-18.15	10.11	74.97	-43.96	69.76	-42.03	-25.30	-6.52		
Déficit (mm)	-26.37	-39.85	-44.92	-60.30	-18.15			-43.96		-42.03	-25.30	-6.52		
Exceso (mm)						10.11	74.97		69.76					

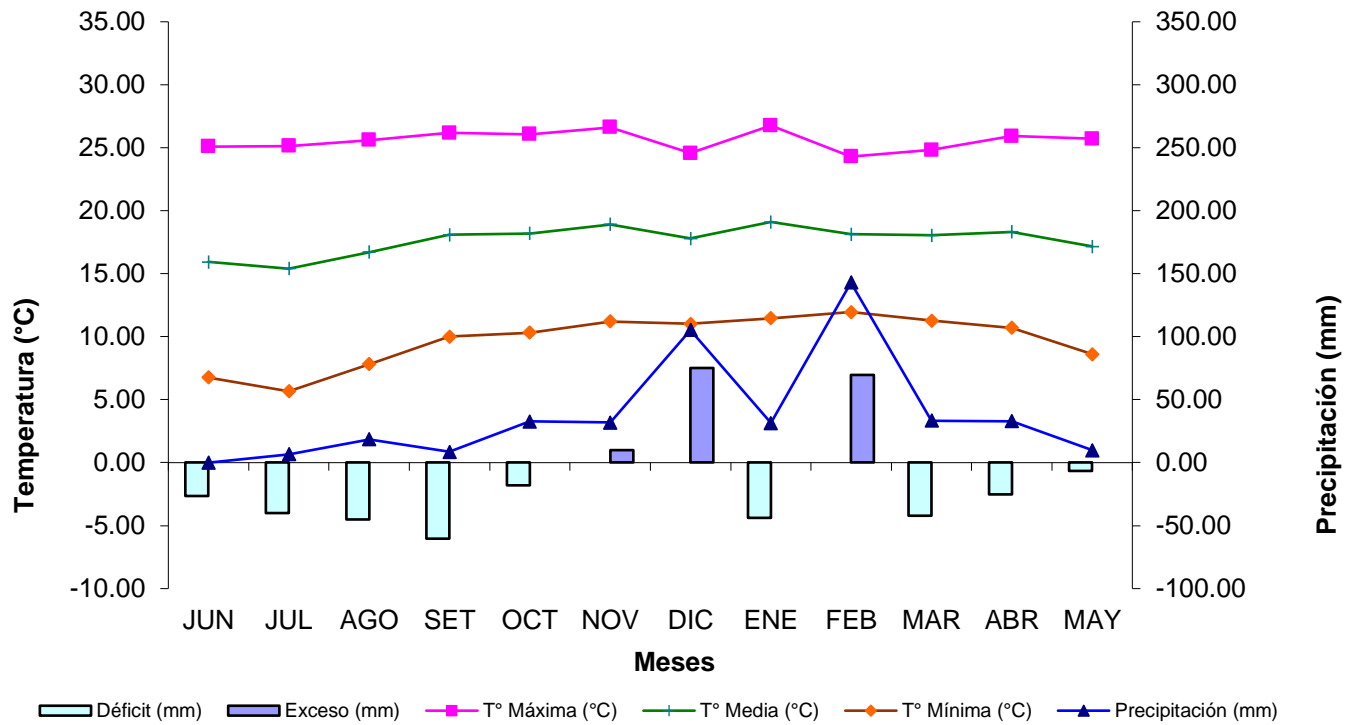


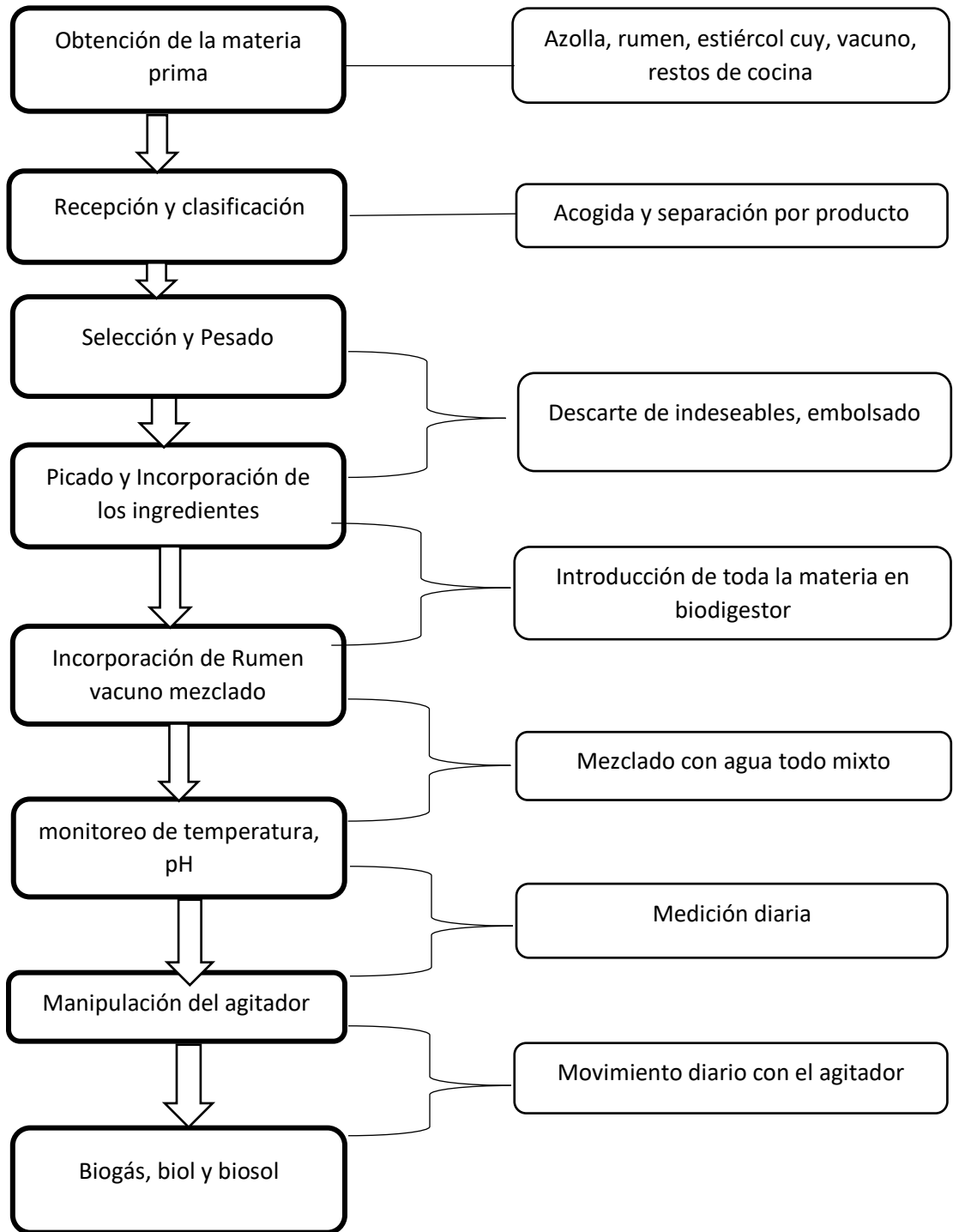
Figura 01. Diagrama Ombrotermico: temperatura vs. Precipitación y balance hídrico correspondiente a la campaña agrícola 2017-2018, de la Estación meteorológica de Canaán (SENAMHI)-Ayacucho.

MATERIALES, EQUIPOS E INSUMOS

Tabla 2. Materiales, equipos e insumos para la elaboración del biogás

Herramientas	Cantidad	Objetos plásticos	Cantidad	Equipos	Cantidad	Insumos
Cúter	1	Bidón	100 Lts	termómetro	1	Residuos orgánicos
Cierra	1	Contratuercas ½"	16	Peachimetro	1	Restos de cocida
Lija	2	Contratuercas 1"	48	Balanza digital	1	Cascaras de fruta
Alicate	1	Contratuercas 2"	8	Vaso precipitado de 100 ml	2	agua
Taladro	1	Empaquetaduras	-	Papel sanitario	8	Azolla
Saca bocados	1	Llave de paso ½"	8	Guantes quirúrgico	20	Estiércol de cuy
Listones de madera	9	Llave de paso 1"	16			
Clavos Kg	3	Tubo de 2"	3			
Pico	1	Tubo de ½"	1			
Pala	1	T de ½"	9			
Barreta	1	Adaptador de 2"	9			
Pegamento formador	1	Lápiz	1			
Teflón	4	Franela	1			
Vela	3	Manguera de biogás	9			
Fósforo	1	Cámara de llanta	9			
Silicona	1	Plástico polietileno termoaislante	1			

Procedimiento experimental



Construcción Instalación de biodigestores

Se elaboró los biodigestores un total de 9 unidades para 3 tratamientos, cada tratamiento consta de 3 repeticiones y se cubrió con plástico invernadero



Figura 2, Construcción e instalación de biodigestor

Relación Carbono: Nitrógeno

Para determinar la relación Carbono/Nitrógeno primeramente determinó el porcentaje de carbono y nitrógeno, luego por una simple operación aritmética, realizando una división entre el porcentaje de carbono y nitrógeno.

En la alimentación de bacterias para la producción de biogás el carbono y nitrógeno son los principales fuentes y por eso tiene que haber una cantidad de carbono orgánico con respecto a la cantidad de nitrógeno total en un residuo orgánico, en estos dos nutrientes deben oscilar una relación óptima en un aproximado máximo de 30:1 y mínimo 20:1 (Navarro, 2017).

PROCEDIMIENTO

En primer lugar, se acondiciona los biodigestores elaborados de 70 litros que consiste en tres tratamientos con 3 repeticiones en total 9 unidades cada una de ellas con tapa hermética y con 3 orificios uno como alimentador, otro para recolectar el biol esto permitirá coleccionar la muestra para tomar datos de pH conforme pasen los días hasta llegar al pH óptimo, y otro para obtener el biogás y se almacena en una cámara de carro y un agitador para homogenizar el proceso. la preparación para la carga de los biodigestores es de tres tratamientos con tres repeticiones donde se depositó T1 = 10 kg residuo orgánico de cocina + 6 kg de azolla sp + 1 kg de estiércol de cuy y vacuno. T2 = 6 kg residuo orgánico +3 kg de azolla sp + 1 kg de estiércol de cuy y vacuno T3 = 4kg residuo orgánico + 1 kg de estiércol de vacuno y cuy a cada uno reincorporado 4 kilos de rumen vacuno como inocular del proceso.

Los residuos de cocina, se procede a cortarlo y partirlo en trozos pequeños con la ayuda de un cuchillo grandes, se hizo una mezcla con helecho (*azolla sp*) y reincorporado el inocular de rumen vacuno de 4 kg con de agua sin cloro 30 litros y se disuelven hasta obtener una especie de sopa espesa y luego se homogeniza bien para luego tapar el bidón herméticamente.



Figura 3, Alimentación con materia orgánica a los biodigestores

LEVANTAMIENTO DE LOS DATOS Y TOMA DE MUESTRAS

Para obtener el rendimiento del biogás se cuantifico el peso, volumen, presión y un análisis de laboratorio de los nutrientes del biol y biomasa y Los parámetros de control fueron como el pH y la temperatura

Control de pH

Se hizo el monitoreo 2 veces por semana, el nivel de pH para verificar que obtenga valor neutro 7.5, recomendado por los autores, al comienzo el pH tendió a bajar esto por la descomposición de la materia orgánica, y se controló incorporando ceniza y cal.

Control de temperatura

La carga inicial de los reactores se llevó a cabo el día 01 de diciembre, el proceso de biodigestión tuvo una duración de 4 meses, se instaló un invernadero de plástico para controlar la temperatura, sin embargo, la temperatura bajó significativamente durante la noche

El peso de gas

El peso de gas se determinó con una balanza electrónica en gramos.

Volumen de biogás

El volumen de biogás, se realizó mediante el desplazamiento de agua que consiste en sacar el biogás con una manguera conectado de una botella a una probeta tal como se ve en la figura, Este volumen de agua era recolectado en botellas de 3 litros. El volumen era medido y anotado en un cuaderno de anote de datos para finalmente ser transcritos al software

Presión de gas

La presión de gas de biogás se midió por la ecuación de gases ideales ecuación de gases ideales,

PV=nRT , Ley de los gases ideales.



Figura 4. Levantamiento de datos de muestra

Análisis de nutrientes del biol y biomasa

Las muestras para el análisis de composición química del biol fueron colectados en botellas de plásticos de 1 litro de capacidad. Estas muestras se recolectaron al final del proceso de biodigestión de los biodigestores de los diferentes tratamientos y sus repeticiones, Para realizar el análisis de nutrientes las muestras fueron llevados al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Agua y Fertilizantes “**Multiservicios Agrolab – Ayacucho**



Figura 5. Laboratorio para análisis de nutriente de biol y biomasa

Análisis Estadístico

Para probar los datos estadísticamente del peso, volumen y presión de biogás, se planteó un diseño de Bloques Completamente al azar (DBCA) con 3 tratamientos y 3 repeticiones. Para los datos de nutrientes del biol se planteó un Diseño de Bloques Completamente al azar (DBCA) con 3 tratamientos y 3 repeticiones.

Para la validación estadística de los datos se utilizaron Homogeneidad de varianza, el Análisis de varianza (ANOVA), que es un parámetro estadístico que indica a que la varianza no varía que se mantiene constante en cada uno de los factores o grupos, cuando no existen

diferencias entre los puntos, el resultando tiene una distribución totalmente homogénea. la normalidad para evaluar la significancia de todas las diferencias, tanto para las repeticiones como para los tratamientos; seguidamente la prueba de LSD de fisher, en el cual se comparó los diferentes tratamientos para conocer cuál de los tratamientos es el de mejor rendimiento. Para el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Fisher se está tomando un nivel de confianza del 95% y se utilizó el programa estadístico software R, versión 3.3.6 (R Team Core, 2019).

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Peso de biogás producido, volumen y presión

datos Peso groups

T1	17.333333	a
T2	12.666667	b
T3	7.333333	c

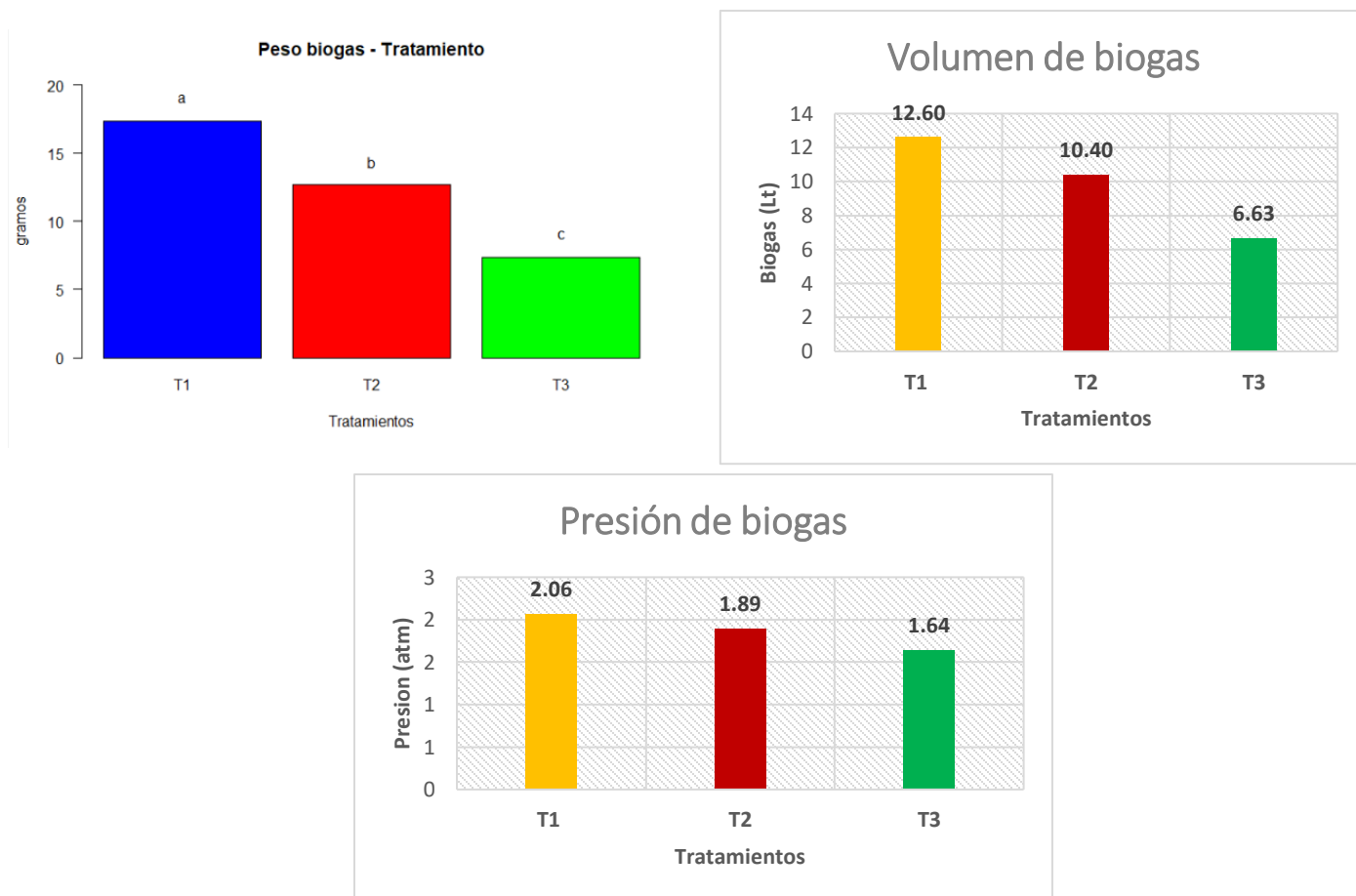


Figura 6. Se muestra los valores del peso, volumen y presión promedio total de biogás de los tres tipos de tratamientos

Se obtuvo diferencias significativas en el peso volumen y presión de biogás por cada tratamiento.

El tratamiento 1, tuvo una producción exponencial de biogás durante el 4to mes, llegando a producir un peso máximo diario de **(17.33 gr)** volumen **(12.6 lt)** y presión de **(2.06 atm)** y el **tratamiento 2** con peso de **(12.66 gr)** volumen **(10.40 lt)** y presión **(1.89 atm)** y el **tratamiento 3** con peso **(7.333gr)**, volumen **(6.63 lt)** y presión de **(1.64 atm)** se puede ver que existen diferencias significativas, se puede decir que la primera etapa de mayor producción de metano es debido al incremento del helecho acuático *Azolla sp* que es alta en nitrógeno lo cual favorecieron que las bacterias metanogénicas tuvieran un crecimiento exponencial produciendo altos en peso volumen y presión de biogás.

Análisis de la calidad del biol

En la Tabla 2 se puede apreciar los resultados de la composición química del biol con fines agronómicos, llevados al Laboratorio de análisis multiservicios Agrolab, con la finalidad de evaluar el potencial que tiene este subproducto como abono orgánico líquido. Los valores obtenidos en el laboratorio fueron estadísticamente probados, según el ANOVA las repeticiones resultaron con diferencias No Significativas, además de Varianza constante y normalidad no disperso.

Los resultados de los macro elementos en los diferentes tratamientos tienen una diferencias significativas, obteniendo el primer lugar el tratamiento 1, segundo lugar el tratamiento 2 y ultimo el tratamiento 3; a excepción de manganeso que el tratamiento 2 y 3 estadísticamente son iguales el sodio en el tratamiento 1 y 2 estadísticamente son igual La Conductividad Eléctrica (C.E.) del Tratamiento 1 es (4.06 ppm) es significativamente mayor a los demás tratamientos, por lo tanto, este tratamiento tiene una mayor disponibilidad de sales, buenos para los cultivos (Medina V. et al., 2015) Los valores de NPK (nitrógeno, fósforo y potasio) son considerados nutrientes mayores, los cuales son los primeros en ser extraídos por la plantas, por tanto son los que más escasean en el suelo (Diaz, 2017), por tanto mientras más alto el valor mucho mejor. La cantidad de nitrógeno total del tratamiento 1 (191.3 ppm) es estadísticamente superior a los demás tratamientos

El fósforo total del tratamiento 1 (51.33 ppm) es significativamente superior al tratamiento 2 y 3 El potasio total (K total) del tratamiento 1 es significativamente superior a los demás tratamientos con un valor de 480 ppm Los valores de Ca y Mg y Na son considerados nutrientes secundarios, es decir que después de los NPK (Diaz, 2017) son estos valores de mayor importancia para el crecimiento de las plantas El tratamiento 3 es el que tiene los valores significativamente más altos tanto para el Calcio total con 2350000 ppm y Magnesio total (Mg total) con 5500000 ppm y sodio el tratamiento 1 y 2 son iguales de 9500000 ppm.

Tabla 3. Resultados de laboratorio biol macroelementos

RESULTADOS LABORATORIO BIOL MACROELEMENTOS						
C.E. dS/m	Nt (ppm)	P2O5 (ppm)	K2O (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Na (ppm)
<p>Conductividad eléctrica - Tratamiento</p>	<p>Nitrogeno - Tratamiento</p>	<p>Fósforo - Tratamiento</p>	<p>Potasio - Tratamiento</p>	<p>Calcio - Tratamiento</p>	<p>Magnesio - Tratamiento</p>	<p>Sodio - Tratamiento</p>
<p>T1 = 4.066667 a T2 = 3.100000 b T3 = 3.060000 c</p> <p>Mediante la prueba LSD de Fisher se obtuvo diferencias significativas en la CE por cada tratamientos.</p>	<p>Diferencia Sgnificancia mínima es 5.913435</p> <p>T1 191.3333 a T2 168.0000 b T3 140.0000 c</p> <p>Mediante la prueba LSD de Fisher se obtuvo diferencias significativas en la N por cada tratamientos.</p>	<p>Diferencia significancia mínima es 7.020082</p> <p>T3 51.33333 a T1 41.33333 b T2 33.33333 c</p> <p>Mediante la prueba LSD de Fisher se obtuvo diferencias significativas en la PO25 por cada tratamientos.</p>	<p>least Significant Difference:8.582564</p> <p>T1 480 a T3 470 b T2 455 c</p> <p>Mediante la prueba LSD de Fisher se obtuvo diferencias significativas en la K20 por cada tratamientos.</p>	<p>least Significant Difference:5.565216</p> <p>T3 235.0000 a T1 188.6667 b T2 164.3333 c</p> <p>Mediante la prueba LSD de Fisher se obtuvo diferencias significativas en la Ca por cada tratamientos.</p>	<p>least Significant Difference: 8.319046</p> <p>T1 55.00000 a T2 42.66667 b T3 38.33333 b</p> <p>Mediante la prueba LSD de Fisher se obtuvo diferencia en Mg solo en el tratamiento 1 y 2 mas no hay diferencia significativa entre 2 y 3</p>	<p>least Significant Difference: 8.088661</p> <p>T1 95.00000 a T2 95.00000 a T3 73.33333 b</p> <p>Mediante la prueba LSD de Fisher se obtuvo diferencia en Na solo en el tratamiento 2 y 3 mas no hay diferencia significativa entre 1y 2</p>

Los resultados de los micro elementos de fierro tienen unas diferencias significativas, obteniendo el primer lugar el tratamiento 1, con 3600000 ppm en los demás micro elementos, estadísticamente no hay diferencia

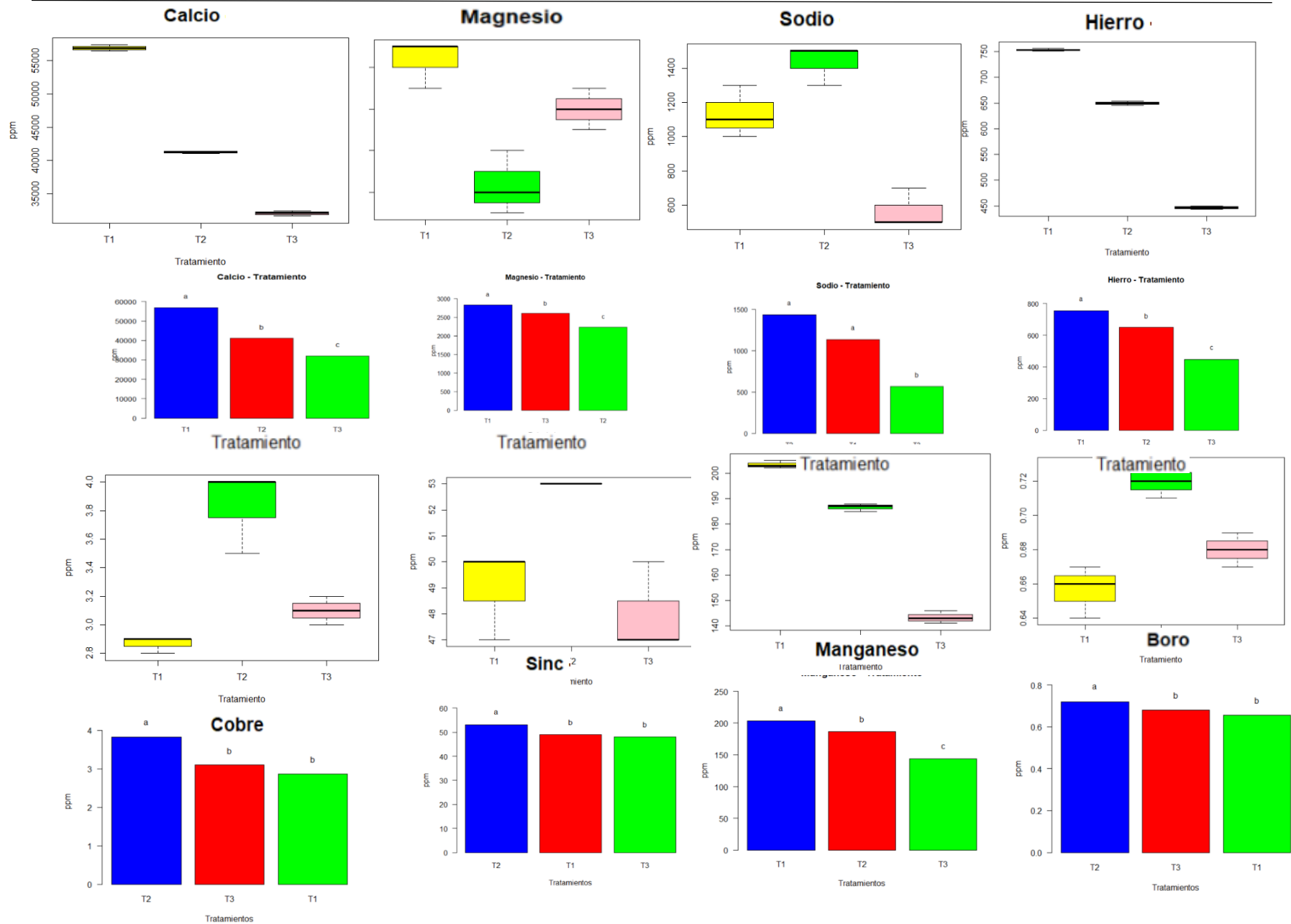
Tabla 4. Resultados de laboratorio biol microcementos

RESULTADOS LABORATORIO BIOL MICRO_ELEMENTOS			
Fe (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	B (ppm)
<p>least Significant Difference: 3.22018</p> <p>T1 36.00000 a T3 20.00000 b T2 11.66667 c</p> <p>supera el rango de significancia minima ; por lo tanto, cumple con la diferencia de niveles.</p>	<p>least Significant Difference: 2.19904</p> <p>T1 6.493333 a T2 4.593333 ab T3 2.680000 b</p> <p>Los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes.</p>	<p>least Significant Difference: 2.951242</p> <p>T1 11.013333 a T2 9.010000 ab T3 6.676667 b</p> <p>Los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes.</p>	<p>least Significant Difference: 0.0328383</p> <p>T1 0.08900000 a T2 0.07033333 ab T3 0.04066667 b</p> <p>Los tratamientos con la misma letra no son significativamente diferentes.</p>

Tabla 5. Resultados de laboratorio biosol macro_ microcementos

RESULTADOS DE COMPOSICION DEL BIOSOL MACROELEMENTOS

MICROELEMENTOS



Resultados de biosol en macro elementos

Mediante la prueba LSD de Fisher se obtuvo diferencia en CE solo en el tratamiento 1 y 2, 3 y 1 mas no hay diferencia significativa entre 2 y 3 Mientras que en la MO

Mediante la prueba LSD de Fisher se obtuvo diferencias significativas por cada tratamiento de igual manera en nitrógeno se obtuvo diferencias significativas por cada tratamiento y también se obtuvo diferencias significativas en la PO25 por cada tratamiento. Seguido por k20 donde se obtuvo también diferencias significativas en por cada tratamiento y en el sulfato también hubo significancia significativa por cada tratamiento del mismo modo en la Humedad por cada tratamiento.

Resultados de biosol en micro elementos

Mediante la prueba LSD de Fisher se obtuvo diferencias significativas en Ca por cada tratamiento de igual manera se obtuvo diferencias significativas en la Mg por cada tratamiento También en Na por cada tratamiento. Del mismo modo hubo significancia en Fe por cada tratamiento en el Cu también por cada tratamiento y en Zn por cada tratamiento y en MG y finalmente se obtuvo diferencias significativas en el B por cada tratamiento

COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA EN EL PROCESO

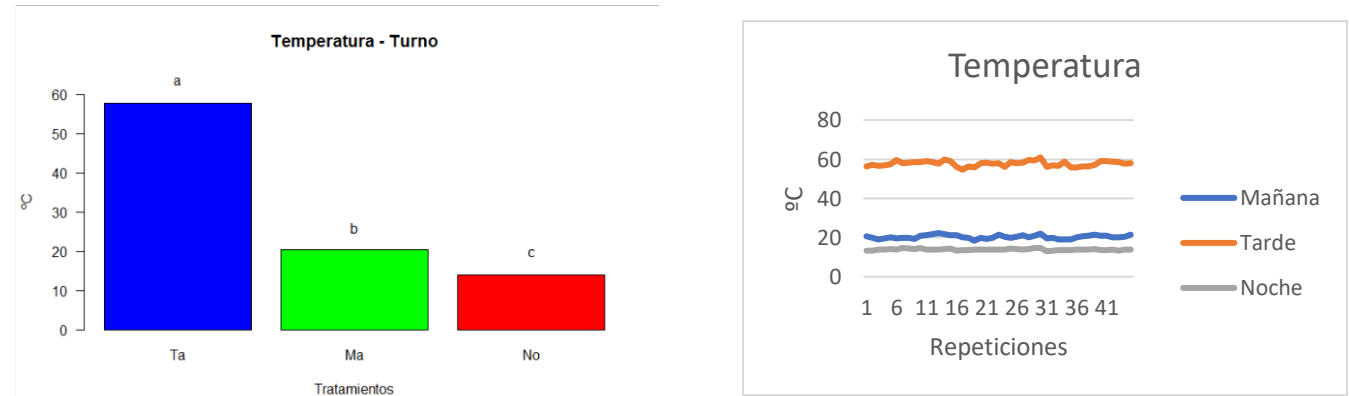
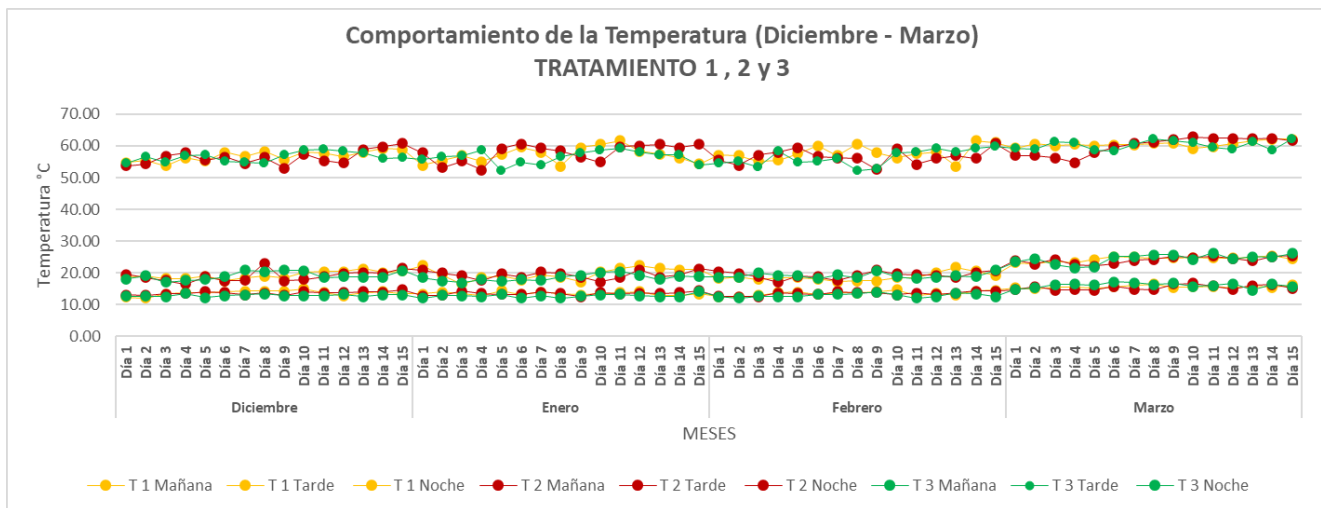


Figura 7. Se muestra el comportamiento de las variaciones de la temperatura de los tres tipos de tratamientos

datos\$Temperatura groups		
Tarde	57.72741	a
Mañana	20.36759	b
Noche	13.85833	c

Mediante la prueba LSD de Fisher se obtuvo diferencias significativas en la temperatura el turno de mañana tarde y noche. La variación de esto, afecto en el desarrollo de los microorganismos haciendo lento el proceso de fermentación

En La temperatura del biodigestor se mantuvo inestable en diferentes rangos a media día llegaba a termofílica un promedio de 60 °C en la mañana mesofílica un promedio de 24 °C y en la noche bajaba a scrofilica un promedio de 12 °C Este parámetro influyo notablemente en el aumento y subsistencia de las bacterias, sin embargo, en mes de marzo se adiciono materiales caseros de calefacción se envolvió con frazadas y al piso se puso pellejo de oveja como material de aislante subiendo hasta 17 °C por la noche como dice (Parra, 2015). el proceso anaeróbico la última fase es posible en temperatura termofílica, usualmente la baja temperatura conlleva a decaer la velocidad de crecimiento y la acción metanogénica

Comportamiento del pH en el proceso

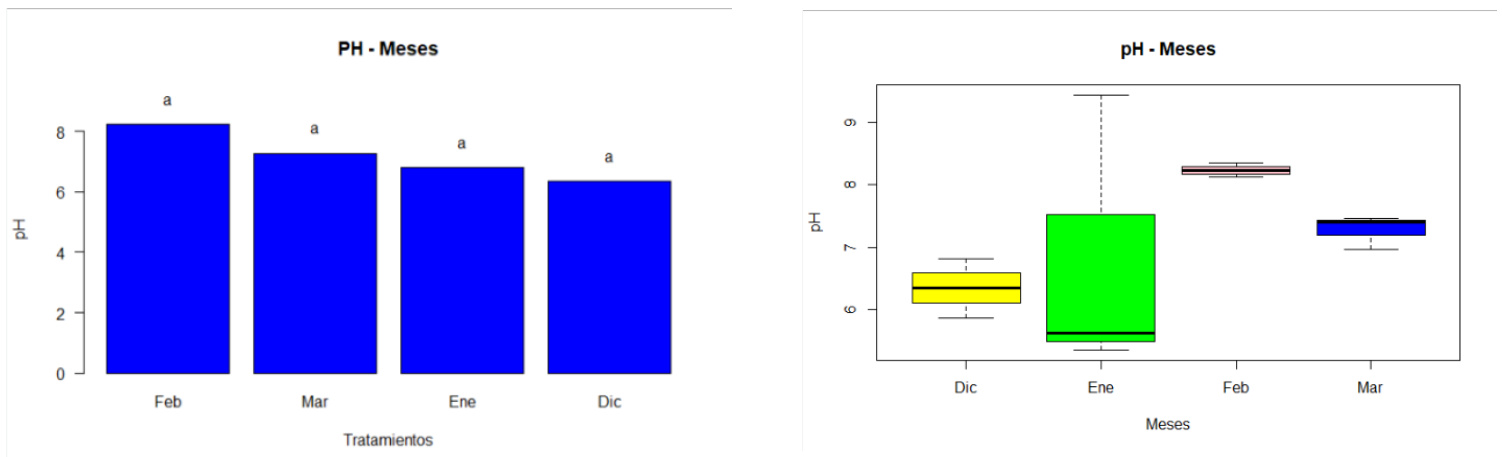


Figura 8. Se muestra el comportamiento del pH en los 4 meses del proceso

pH groups		
Feb	8.231944	a
Mar	7.277431	a
Ene	6.806111	a
Dic	6.349028	a

Mediante la prueba LSD de Fisher no hay diferencias significativas en el pH por meses en los diferentes tratamientos, por lo cual no hubo problema mayor en cuestión de este parámetro. Durante el proceso de fermentación anaeróbica se mantuvieron dentro de un rango de pH, al inicio el pH fue de 6.34, ligeramente ácido enero 6.80 subió un poco febrero 8.23 ligeramente alcalino y marzo 7.27 neutro siendo apto para el proceso

El pH del reactor altera el proceso de la digestión anaerobia y eficacia del proceso de digestión. Los metanógenos trabajan efectivamente entre rango de pH de 6,5-8,2, con un pH óptimo de 7,0. Aunque se ha demostrado que el rango de pH óptimo para la máxima producción de rendimiento de gas en la D.A es 6,5-7,5(Parra, 2015)

DISCUSIONES

Rendimiento de peso volumen y presión

La mayor producción en rendimiento en peso, volumen y presión de biogás se observó en la digestión anaerobia del tratamiento 1 reincorporado con el helecho acuática (*azolla sp*) de 6 kilos : como menciona (González-sánchez et al., 2015) que el rendimiento de puede estar influenciado por varios factores, como el tamaño de partícula y el tipo de sustrato, Los resultados demostraron que los residuos orgánicos más *azolla sp* tiene el mejor potencial para ser usado como materia prima en la producción de biogás, tal como menciona , (Kumar et al., 2021) en su experimento donde utilizo biomasa con *azolla* piñatas incorporado con estiércol vacuno donde obtuvieron efectos significativos sobre la producción de biogás

El mayor rendimiento observado en la digestión anaerobia de *azolla sp* probablemente se deba a su alto contenido de nitrógeno celulosa, y proteínas tal como menciona el autor (Wagner, 2021) en su estudio de las bondades de *Azolla pinnata*

(Martínez et al., 2012) Los residuos de cocina como frutas y verduras cuentan con una alta biodegradabilidad rápida que esto con un balance de C/N son un potencial de aprovechamiento energético, el proyecto de tesis utilizamos la *azolla sp* como fuente nitrogenada reemplazando al nitrógeno de composición animal

Rendimiento de biol y biomasa

(Zambrano, 2018) determinó el incremento del rendimiento en grano de plantas de cebada *Hordeum vulgare L.*, con la aplicación de *Azolla sp.*, como biofertilizante nitrogenado, resultados obtenidos muestran: diferencia significativa para los componentes de rendimiento: número y peso de granos por espiga de cebada, el tratamiento 1 incorporado con *azolla sp*, ocupó alto elementos macro y micro nutrientes.

(Zambrano, 2018) Empleó *Azolla sp*, humus de lombriz y compost. como fuente orgánica en los cultivos de tomate y lechuga. Los resultados mostraron que *Azolla sp.* Supera en rendimiento a humus de lombriz y compost,

(Gamboa Arenas, 2019) menciona que el biol rico en nutrientes tiene un alto gama multifuncional de hormonas de crecimiento, antibióticos, vitaminas, minerales, enzimas, co-enzimas carbohidratos, azúcares complejas de relaciones biológicas, químicas, físicas y energéticas que se establece entre las plantas y la vida del suelo.

(Técnicas & Osorio, n.d.) menciona que en la actualidad se da el abuso de abonos sintéticos y estos han esterilizado los micronutrientes como Zinc, hierro, cobren manganeso, moliddeno y boro, una alternativa de recuperación de suelos es usando el abono de la parte solida de un biol (biosol) por ser ricos es estos

(Zuñiga, 2021) evaluó el efecto de la fertilización química y enmiendas orgánicas (*azolla* y guano de cuy) donde concluye que la fertilización química solo aumento en cantidad, pero la *azolla* obtuvo mejor calidad (papas grandes)

Comportamiento de la temperatura

(Ibáñez, 2015) determina La aceleración de la producción biológica, va ser influenciado mucho del aumento de microorganismos y esto dependerá de la temperatura que cuando es más calor aumenta la proliferación de estas bacterias y la digestión se acelera obteniendo mayor producción de biogás, se ha establecido tres niveles en todo el proceso nivel psicrófilo hasta 25 °C nivel mesofílico de 25 a 45 °C y el nivel termofílico 45 a 65 c.

(Parra-ortiz et al., 2019) menciona la acumulación de calor térmico es indispensable para cada etapa del proceso puesto esto ayudan a descomponer más rápido, los microorganismos son susceptibles al cambio brusco de temperatura por ende es importante mantener al nivel de los diferentes procesos. Es por ello que los resultados obtenidos de temperatura muestran altibajos durante la noche y por ende la deficiencia y el largo proceso de producción de biogás.

(Zamanzadeh et al., 2017) menciona En un proceso anaerobio de desperdicios de alimentos y el otro de combinación de mezcla de estiércol de vaca el estudio abordado del rendimiento y el comportamiento microbiano a temperaturas mesofílicas (37° C) y termofílicas (55 °C) el mayor rendimiento se observó alimentados por la codigestion de desperdicios de alimentos y estiércol de vaca, en temperaturas de 37 °C .

Comportamiento del pH

(Parra, 2015), menciona el pH del reactor afecta la eficiencia del proceso de digestión. El rango óptimo de pH de 6,5-8,2, con un pH óptimo para la máxima obtención de 7,5. (Hernández, 2013), señala el proceso de fermentación en los biodigestores normalmente debe estar en torno a 7.0 unidades de pH. Sin embargo, la digestión para la obtención de biogás consta de tres etapas hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis y en cada una controlar el Ph a mantener en neutro se evidencia que había una crecida no significativa, pero se controló incorporando ceniza y cal

(Buettner et al., 2019) afirma que la bacteria de peptococcaceae que es influenciada bastante por el Ph, ya que, cuando baja el Ph, disminuye también sus proteínas y por ende la producción, esto se debe por las altas concentraciones de ácidos grasos volátiles (VFA) que impiden la actividad de hidrolisis como la metanogénesis, los sustratos que empleamos influyen en las concentraciones de VFA, por lo tanto, se tiene que evaluar los sustratos. Por otra parte (Wang et al., 2017) menciona que la alta salinidad interviene en la actividad de las células dándoles perdida o fracaso de trabajo microbiano, un pequeña cantidad de NaCl incrementa el rendimiento de metano, una alta cantidad NaCl hace que reduzca el rendimiento, en la metanogénesis tiene un efecto más mientras en la acidogénesis es más resistente.

Relación carbono/nitrógeno

(Navarro, 2017), declara en la alimentación de bacterias para la producción de biogás el carbono y nitrógeno son los principales fuentes en estos dos nutrientes deben

oscilar una relación óptima en un aproximado máximo de 30:1 y mínimo 20:1 (Wei et al., 2019), señala que para estiércol de ganados, aves, rastrojos de cosecha, restos de cocina, se ha investigado una digestión excelente a través de una mezcla de estiércol de vaca y la paja de maíz, estos equilibran la relación carbono y nitrógeno 30 : 1 y tuvieron buen rendimiento que una digestión individual en el cuadro se ve el trabajo matemático de hallar relación carbono y nitrógeno

CONCLUSIONES

Obteniendo mayor rendimiento tanto en peso, volumen y presión es el **tratamiento 1**, debido a que tiene incorporada el helecho acuático fijadora de nitrógeno *Azolla sp* que permita contribuir de manera positiva al ambiente al uso de biocombustible,

El tratamiento 1 ha tenido mayor rendimiento en composición de nutrientes de biol y biomasa empleado con residuos orgánicos más 6 kilos de *Azolla* superando al tratamiento 2 que tuvo 3 kilos de *azolla sp* y el tratamiento 3 fue menor debido que no se utilizó el helecho *Azolla sp* por lo tanto el helecho *Azolla sp* fue activante en el proceso de fermentación convirtiéndole al biol y biosol en un biofertilizante con el potencial de enriquecer los nutrientes al suelo, además obtener alimentos orgánicos saludables

RECOMENDACIONES:

- Realizar más estudios sobre los nutrientes del helecho (*Azolla sp*) en la producción de biogás y abonos orgánicos
- Se recomienda un acondicionamiento de temperatura de material polietileno (plástico termoaislante de calor de baja densidad) como soporte de temperatura para mejorar la eficiencia y acelerar en la producción del proceso anaerobio que condicione adecuadamente en el control de temperatura en los diferentes procesos que se dan.
- Utilizar una buena agitación de todos los días para mantener una buena homogenización de la mezcla y acelerar la degradación
- Incrementar inóculos de rumen vacuno para acelerar la proliferación de microorganismos
- Si entendemos la vida de los microorganismos podemos hacer ciencia con conciencia porque ellos son la esencia de la tecnología por lo cual se recomienda más investigación sobre el cuidado con relación a los parámetros de digestión anaerobia en la producción de biogás.

BIBLIOGRAFIA

- Agencia Energética Internacional. (2019). *World Energy Outlook*.
- Arrieta-palacios, W. (2016). *DEL ESTIÉRCOL DE GANADO* Winston Arrieta-Palacios.
- Buettner, C., von Bergen, M., Jehmlich, N., & Noll, M. (2019). Pseudomonas spp. are key players in agricultural biogas substrate degradation. *Scientific Reports*, 9(1), 1–13.
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-49313-8>
- Cendales, E., & Jiménez, S. (2017). *Modelamiento computacional de la producción de energía renovable a partir del biogás mediante la codigestión anaeróbica de la mezcla de residuos cítricos y estiércol bovino*.
- Díaz, P. S. Li. (2017). *Elaboración de abono orgánico (Biol) para su utilización en la producción de alfalfa (Medicago Sativa V. Vicus) en Cajamarca*.
- Eugenia, M., & Chelini, J. (2012). *Kusch y la posibilidad de un nuevo pensar desde el “ estar ” americano*. I, 1–7.
- Gamboa Arenas, P. (2019). *Aplicación de biol mediante la técnica en ferdín en el crecimiento de Coffea arabica L. variedad Catuai, en Satipo*. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/7286>
- González-sánchez, M. E., Pérez-fabiell, S., & Wong-villarreal, A. (2015). Residuos agroindustriales con potencial para la. *Revista Argentina de Microbiología*, 47(3), 229–235.
<https://www.elsevier.es/es-revista-revista-argentina-microbiologia-372-pdf-S0325754115000826>
- Hernández, R. (2013). *ESTUDIO DE BIODIGESTORES ANAEROBICOS UTILIZANDO TECNOLOGÍA COMBINADA DE BIOMASA Y SOLAR TERMICA PARA EL MONTAJE DE UN NOVEDOSO Y AUTOSUSTENTABLE SISTEMA DE GENERACION DE ENERGIA*. *Previo*.
- Ibáñez, E. E. (2015). *Trabajo Fin de master*. 2014–2015.
- Joel, M., & Fernandez, H. (2022). *Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental*.
- Kumar, V., Kumar, P., & Kumar, P. (2021). *Digestión anaeróbica de biomasa de Azolla pinnata cultivada en efluentes industriales integrados para mejorar la producción de biogás y reducir la DQO : estudios de optimización y cinética*. 3–5.
- Martínez, W. A. M., Rodríguez, L. S. C., & Agudelo H., A. C. (2012). Potencial de biogás de residuos de frutas y verduras provenientes de restaurantes de Palmira. *Acta Agronomica*, 61(SPL.ISS.), 97–98.
- Medina V., A., Quipuzco U., L., & Juscamaita M., J. (2015). Evaluación De La Calidad De Biol De Segunda Generación De Estiércol De Ovino Producido a Través De Biodigestores. *Anales Científicos*, 76(1), 116. <https://doi.org/10.21704/ac.v76i1.772>
- Navarro, N. (2017). *POTENCIAL TÉCNICO PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS*, .
- Parra-ortiz, D. L., Botero-londoño, M. A., Botero-londoño, J. M., Eléctricos, S., & Correo, T. S. A. S. (2019). *Biomasa residual pecuaria : revisión sobre la digestión anaerobia como método de producción de energía y otros subproductos Livestock residual biomass : review of anaerobic digestion as a method of energy production and other byproducts*. 18(1), 149–160.
<https://doi.org/10.18273/revuin.v18n2-2019013>
- Parra, R. (2015). Anaerobic digestion: biotechnological mechanisms in waste water treatments and their application in food industry. *Producción + Limpia*, 10(2), 142–159.

- Técnicas, E., & Osorio, L. G. (n.d.). *Manejo Ecológico de Suelos*.
- Vargas, M. F. (2010). *Biodigestores : factores químicos , físicos y biológicos relacionados con su productividad*. 23, 39–46.
- Wagner, G. M. (2021). *Azolla : una revisión de su biología y utilización*. 1–26.
<https://link.springer.com/article/10.1007%2FBF02857915>
- Wang, S., Hou, X., & Su, H. (2017). Exploration of the relationship between biogas production and microbial community under high salinity conditions. *Scientific Reports*, 7(1), 1–10.
<https://doi.org/10.1038/s41598-017-01298-y>
- Wei, L., Qin, K., Ding, J., Xue, M., Yang, C., & Jiang, J. (2019). Optimization of the co-digestion of sewage sludge , maize straw and cow manure : microbial responses and effect of fractional organic characteristics. *Scientific Reports, January*, 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38829-8>
- Zamanzadeh, M., Heldal, L., Svensson, K., & Linjordet, R. (2017). *Biogas production from food waste via co-digestion and digestion- effects on performance and microbial ecology*. August, 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15784-w>
- Zambrano, P. (2018). Universidad nacional del callao ip®. *Univerdidad Nacional Del Callao*, 130.
<http://hdl.handle.net/20.500.12952/5053>
- Zuñiga, M. (2021). Universidad Nacional De San Universidad Nacional De San Agustín De Arequipa. *E“Efecto De La Implementación De La Gestión De Logística Inversa En Los Resultados Económicos Y Medioambientales De La Empresa Industrial Reyemsa Periodo 2017*, 164.
<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12773/12336/MDzutoma.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Acosta Rubio, D., Castro Camacho, L., & Moreno Arias, A. (2021). Pirólisis rápida para producir biocombustibles con residuos sólidos urbanos: estudio de caso, Madrid, Cundinamarca. *Revistas.Unal.Edu.Co*, 24, 47–58.
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/97273>
- Alexander, B., & Diaz, O. (2019). “ *ESTUDIO DE PRE -FACTIBILIDAD PARA LA RECUPERACION DE UN SISTEMA DE BIOGAS .* ”
- Barrena Gurbillón, M. A., Cubas Alarcón, F., Gosgot Angeles, W., Ordinola Ramírez, C. M., Rascón Barrios, J., & Huanes Mariños, M. (2019). Sistema de producción de biogás y bioabonos a partir del estiércol de bovino, Molinopampa, Chachapoyas, Amazonas, Perú. *Arnaldoa*, 26(2), 725–734.
- Cabrera, J. J. A. (2021). *Diseño de un Biodigestor para generar biogás y abono a partir de desechos orgánicos de animales aplicable en las zonas agrarias del litoral*. 104.
- Chorlango, brayan armando quilumba. (2021). “ Evaluación De La Producción De Biogas Al Orgánicos Urbanos De Pedro Moncayo Mediante Digestión Anaerobia .” *Brayan Armando Quilumba Chorlango*.
- Escobedo, M. J., & Calderón, A. C. (2021). Microalgal biomass with high potential for the biofuels production. *Scientia Agropecuaria*, 12(2), 265–282.
<https://doi.org/10.17268/SCI.AGROPECU.2021.030>
- Giubi, J., Bernal, M., & Cañete, F. (2019). Producción de Biogás a partir de residuos orgánicos generados en el Hospital de Clínicas: Un estudio preliminar. *An. Fac. Cienc. Méd. (Asunción)*, 52, 53–58.

- Hilbert, J. (2020). Manual para la producción de biogas. *I.N.T.A. - Castelar*, 57.
- Jara-Samaniego, L. J., Gallegos-Núñez, J. M., & Cruz-Torres, M. A. (2021). Elaboración y caracterización de bioles de residuos orgánicos. *InterSedes*, 22, 189–203.
<https://doi.org/10.15517/isucr.v22i45.46013>
- Mamani, J., Llumipanta, F., Ramos, S., Rea, J., Alucho, J., Saltos, D., Llanos, F., & Jácome, C. (2021). Biogas production systems: rationale, improvement techniques, advantages and disadvantages. *Agroindustrial Science*, 11(2), 239–247.
<https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.02.14>
- Mantilla, J., Duque, C., & Galeano, C. (2019). Diseño y estudio económico preliminar de una planta productora de biogas utilizando residuos orgánicos de ganado vacuno. *Revista Ingeniería E Investigación*, 27(3), 133–142.
- Margareth, Ramos, D. S., Soares, M. Y., Barufi, C., & de Carvalho, M. M. (2021). Barriers to broaden the electricity production from biomass and biogas in Brazil. *Production*, 31. <https://doi.org/10.1590/0103-6513.20210064>
- Sarabia Méndez, M. A., Laines Canepa, J. R., Sosa Olivier, J. A., & Escalante Espinosa, E. (2020). Producción de biogás mediante codigestión anaerobia de excretas de borrego y rumen adicionadas con lodos procedentes de una planta de aguas residuales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33(1), 109–116.
<https://doi.org/10.20937/RICA.2017.33.01.10>
- Martinez, D. (2020). Martínez, David.
- Paez, V. (2019). Manual de biogás.