



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

FACULTAD REGIONAL MULTIDISCIPLINARIA DE ESTELI

FAREM-ESTELI

**DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS
CÁRNICOS PORCINOS MEDIANTE BIODIGESTORES DE LABORATORIO
TIPO BATCH, EN EL AÑO 2021**

TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OPTAR AL GRADO DE.

INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES

Autores:

- Maríam Antonia Cardoza Urrutia.
- Wilfredo Ramírez Toruño.
- Marco Alejandro Ruiz Navarro.

Tutor:

- Dr. Juan Alberto Betanco Maradiaga.

Estelí, 1 de Julio de 2022

Dedicatoria

Cometer un error y no corregirlo, es otro error

Confucio.

A Dios misericordioso que nos ha permitido llegar hasta aquí y así mismo él con su infinita bondad nos ha dado la fortaleza de salir adelante. Gracias a él por cada día en el que nos permitió despertar no solo con vida, sino que también nos permitió continuar con salud, fuerzas y empeño.

A nuestros padres por su arduo trabajo, amor y perseverancia. Nos han brindado todo lo que somos como personas, nuestros valores, principios, todo ello de una manera desinteresada, con el único propósito de que seamos capaces de cumplir nuestros sueños.

A la memoria de un ser especial, padre, hermano y amigo, que hoy no se encuentra con nosotros, José Alejandro Ruiz.

Agradecimientos

Le agradecemos a Dios por habernos permitido vivir hasta este día, habernos guiado a lo largo de nuestra vida, por ser nuestro apoyo, luz y camino. Por habernos dado la fortaleza para seguir adelante en aquellos momentos de debilidad.

A nuestros padres porque han estado con nosotros en cada paso que damos, cuidándonos y dándonos la fortaleza para continuar, a lo largo de nuestras vidas han velado por nuestro bienestar y nuestra educación siendo nuestro apoyo en todo momento. Gracias por ofrecernos siempre lo mejor de ellos, por dedicarnos su vida, su historia y por siempre creer en nosotros.

Agradecimiento especial a nuestro tutor Dr. Juan Alberto Betanco Maradiaga, por su apoyo y confianza, sobre todo por darnos motivación y alentarnos a seguir adelante para la realización de nuestra tesis.

A la Facultad FAREM-Estelí, por darnos la oportunidad de formarnos como profesionales y de ser parte de ella, agradecemos también a todos nuestros formadores, personas de gran sabiduría, quienes nos han transmitido sus conocimientos.

CARTA AVAL DEL TUTOR DE MONOGRAFÍA DE GRADO



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA
UNAN-MANAGUA

FACULTAD REGIONAL MULTIDISCIPLINARIA DE ESTELI FAREM-ESTELI

Estelí, 1 de julio 2022

CONSTANCIA

La Monografía es el resultado de un proceso académico investigativo llevado a cabo por estudiantes como forma de culminación de estudios. El propósito es resolver un problema vinculando la teoría con la práctica, potenciando las capacidades, habilidades y destrezas investigativas, y contribuye a la formación del profesional que demanda el desarrollo económico, político y social del país. (Art.13 del reglamento de régimen académico estudiantil. Modalidades de graduación)

Por tanto, hago constar que el trabajo **Determinación del potencial de biogás a partir de residuos cárnicos porcinos mediante biodigestores de laboratorio tipo batch, en el año 2021**, cumple con los requisitos académicos requeridos para una Monografía, y ha sido presentado, defendido y corregido a satisfacción de la tutora, con lo cual está optando al título de **Ingeniero en Energías Renovables**.

Los autores de este estudio son los bachilleres María Antonia Cardoza Urrutia, Wilfredo Ramírez Toruño, Marco Alejandro Ruiz Navarro; quienes, durante la ejecución de esta investigación, demostraron responsabilidad, ética y conocimiento sobre la temática.

Así mismo, este estudio aporta la determinar el potencial de biogás a partir de residuos cárnicos, por tanto, será de mucha utilidad para las energías renovables, la comunidad estudiantil y las personas interesadas en esta temática.

Atentamente,

Dr. Juan Alberto Betanco Maradiaga

ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8838-8588>

FAREM ESTELI UNAN MANAGUA

Resumen

La presente investigación tuvo como objeto determinar el potencial de biogás a partir de residuos cárnicos para generación de biogás mediante el proceso biológico anaeróbico controlado. Este estudio se basa en el enfoque filosófico cuantitativo, descriptivo según el nivel de profundidad, el método de investigación es experimental, de acuerdo con el alcance y análisis de los resultados el estudio es analítico. Los tratamientos seleccionados fueron: desechos cárnicos porcino y desechos cárnicos porcinos + excretas de porcino, con relación 1:1 y 2:1 cada tratamiento. Los resultados obtenidos demuestran efecto significativo del desecho cárnico A, que es únicamente desechos cárnicos porcinos, sin mezcla, que presentó un vector de medias mayor que el resto de desechos. Se comprobó que, la digestión anaerobia produce más biogás en las mezclas que en los desechos que no se mezclaron con otro sustrato. Se demostró correlación significativa entre la temperatura y la producción de biogás generada en los biodigestores ($p = 0.0269$), de igual manera demostró correlación en cuanto al pH y la producción de biogás generada en los biodigestor ($p = 0.0017$). Se concluyó que el Desecho cárnico A, presenta las mejores características fisicoquímicas que el resto de desechos (masa húmeda=0.88, masa seca=23.75, porcentaje de cenizas=19.00, porcentaje de sólidos volátiles=4.75, carbono=2.65, nitrógeno=0.28). Los biodigestores operaron bajo temperaturas en condiciones mesofílicas. El biodigestor con el desecho cárnico D, que es la mezcla de desechos cárnicos porcinos + excretas de porcino, fue el que obtuvo mayor rendimiento en cuanto a la producción de biogás con 11.00 litros de biogás.

INDICE

CAPITULO I	10
I. INTRODUCCION	10po
1.2. PROBLEMA DE INVESTIGACION	12
1.2.1. Caracterización del problema	12
1.2.3. Formulación del problema	13
1.2.4. Sistematización del problema	13
1.3. JUSTIFICACION	14
1.4. OBJETIVOS DE INVESTIGACION	15
1.4.1. Objetivo general	15
1.4.2. Objetivos específicos	15
CAPITULO II	16
II. Antecedentes de la investigación	16
2.2. Marco Teórico	21
2.2.1. Biomasa	21
2.2.2. Procesos de biodigestión	21
2.2.3. Principios físicos, químicos que conducen a la generación de biogás 23	
2.2.4. Etapas de la digestión anaeróbica	24
2.2.5. Parámetros Físico-químicos de control	26
2.2.6. Tipos de Biodigestores	32
2.2.6.1.1. Ventajas del biodigestor discontinuo	33
2.2.6.1.2. Construcción de biodigestor	34
2.2.6.1.3. Materiales a utilizar en la construcción del biodigestor batch	34
2.2.7. Biogás	35
2.2.8. Metodología para evaluar la producción de biogás	41
2.2.9. Marco regulatorio sanitario y de manejo de residuos cárnicos	41
2.2.9.1. Manejo de los residuos cárnicos en los mataderos	41
2.3. Hipótesis de investigación	43
CAPITULO III.....	44
3.1. Diseño metodológico	44
3.2. Tipo de estudio	44
3.1.2. Área de estudio	45

3.1.2.2.	Área de conocimiento	46
3.2.	Universo y muestra.....	48
3.3.	Matriz de Operacionalización de variables (MOVI).....	49
3.4.	Métodos, técnicas e instrumentos para la recolección de datos e información.....	52
3.5.	Procedimientos para la recolección de datos e información.....	52
3.6.	Plan de tabulación y análisis estadístico.....	58
4.1.	Resultados y discusión	59
4.1.1.	Identificación de las propiedades fisicoquímicas de los sustratos cárnicos que permiten la generación de biogás.....	59
4.1.2.	Correlación entre los parámetros naturales y de funcionamiento del proceso de biodegradación anaeróbica en biodigestores tipo Batch.....	74
4.1.3.	Determinar la producción de biogás proveniente de diversas mezclas de residuos cárnicos generado en un biodigestor que se sometan a dicho proceso.....	78
4.1.4.	Discusión de resultados.....	79
	Capítulo V	83
5.1.	Conclusiones.....	83
5.2.	Recomendaciones.....	84
5.1.	Bibliografía.....	85
5.2.	Anexos	95

Indicé de Figuras

Figura 1 Fases de la fermentación anaerobia y poblaciones de microorganismos. Fuente: IDAE (2007).	26
Figura 2 Ubicación de la Facultad Regional Multidisciplinaria FAREM-ESTELI, Fuente: google maps.....	46
Figura 3 Masa seca de los sustratos	61
Figura 4 Cenizas de los desechos cárnicos.	63
Figura 5 Solidos Volátiles de los sustratos cárnicos.....	65
Figura 6 Masa húmeda de los sustratos cárnicos.	67
Figura 7 Carbono de los sustratos cárnicos	69
Figura 8 Nitrógeno de los sustratos cárnicos.	71
Figura 9 Relación C/N de los sustratos cárnicos.....	73
Figura 10 Temperatura de los biodigestores	75
Figura 11 pH de los biodigestores.....	77
Figura 12 Produccion de biogás.....	79
Figura 12 Prueba de flama.....	108
Figura 14 medicion de temperatura.....	108
Figura 16 Unidades experimentales.....	108

Indicé de Tablas

Tabla 1 Rango de temperatura en los que trabajan los organismos anaeróbicos.....	28
Tabla 2 Porcentajes de Solidos Totales	30
Tabla 4 Deyecciones de cerdos (orina + heces).....	38
Tabla 5 Produccion de residuos cárnicos.....	40
Tabla 6 Produccion de biogás por m^3	40
Tabla 7 Análisis de la varianza para la variable %Masa Seca.....	59
Tabla 8 Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=3.79993.....	60
Tabla 9 Análisis de la varianza para la variable % de cenizas	61
Tabla 10 Test LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=3.60630.....	62
Tabla 11 Análisis de la varianza para la variable % Solidos Volátiles	63
Tabla 12 Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.95133	64
Tabla 14 Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.05447	66
Tabla 15 Análisis de la varianza para la variable % carbono	67
Tabla 16 Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.08258	68
Tabla 17 Análisis de la varianza para la variable % de nitrógeno	69
Tabla 18 Test: LSD Fisher Alfa= 0.05 DMS= 0.11119	70
Tabla 19 Análisis de la varianza para la variable relación C/N	71
Tabla 20 Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.82469	72
Tabla 21 Correlación de Pearson produccion de biogás y temperatura.....	74
Tabla 22. Correlación de Pearson produccion de biogás y Ph.....	76
Tabla 23 Correlación de Pearson produccion de biogás y relación C/N	77

CAPITULO I

I. INTRODUCCION

La generación y disposición de los residuos orgánicos resultantes de la operación del proceso de matanza y procesamiento de los productos cárnicos de esta industria se caracterizan por ser sólidos muy variables, entre estos se pueden mencionar la sangre, los tejidos grasos de animales, las grasas atrapadas en las trampas de separación y las excretas generadas en el tiempo de espera de los animales antes del sacrificio (Linnenberg, y otros 2012).

Los mataderos generan grandes cantidades de residuos sólidos con un alto contenido en lípidos y proteínas. Estos residuos son, por tanto, más adecuados para la generación de metano que otras materias primas, como los cultivos energéticos o las aguas residuales urbanas, (BIOGAS FUEL CELL, SA, 2016). Además, estos desechos emiten olores desagradables. Al entrar en contacto con el medio ambiente esto provoca serios problemas ambientales como la contaminación del suelo, del agua y la proliferación de fauna nociva transmisora de enfermedades. Estas implicancias sobre el ambiente exigen tener un manejo adecuado de estos residuos, para que no se conviertan en un foco contaminante para el medio ambiente.

En Nicaragua no se cumplen con normas, decretos o leyes, sobre como la industria cárnica maneja los desechos, que se obtienen mediante el proceso de matanza, no se tiene conciencia del grado contaminante que tienen estos. Los mataderos certificados cumplen con normas sanitarias y ambientales, pero estas incluyen que los mataderos no se encuentren cerca de asentamientos humanos o escuelas, cabe recalcar que de los desechos cárnicos se obtienen ciertos subproductos pero gran parte de ellos no son utilizados.

Una alternativa para mitigar el deterioro ambiental sería, aprovechar y manejar de una manera adecuada los desechos cárnicos, esto es posible mediante la biodigestión anaerobia ya que posibilita la degradación de la materia, proceso que ocurre en los biodigestores que son dispositivos completamente herméticos, estos sistemas utilizan tecnología en donde la materia prima en este caso son los desechos cárnicos al encontrarse en condiciones anaeróbicas, transforman la materia en biogás.

Con esta investigación se determinó el potencial de biogás, las propiedades fisicoquímicas de los desechos cárnicos y los factores de generación de biogás. Todo esto permite la implementación de tecnologías que son los biodigestores, que conlleva a tener un manejo adecuado de lo que son los desechos cárnicos. Por otra parte, este estudio puede servir de base para futuras investigaciones en el campo de las energías renovables.

1.2. PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.2.1. Caracterización del problema

El 99% de los mataderos no cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales adecuado; el 93% vierte sus aguas residuales directamente a campo abierto; el 33% no hace en lo absoluto ningún uso de la sangre resultante de los procesos de sacrificio. Los mataderos generan cantidades significativas de desechos líquidos, emitiendo olores muy desagradables. Todos los efluentes, contienen sangre, estiércol, pelos, huesos, grasas, proteínas y otros contaminantes solubles (Chaux, Rojas y Bolaños 2009).

En Nicaragua solo existen 5 mataderos certificados: Matadero Novaterra, Industrial Comercial San Martín, Nuevo Carnic S.A., IGOSA, Matadero Central S.A. (Macesa), en el año 2003, se tuvo un total de matanza de 154,527 y mensual 13,870 (Santamaria Zapata 2006), esto incluyendo a los mataderos que no se encuentran certificados. La principal fuente de contaminación se encuentra en las aguas residuales de los mataderos que incluyen heces y orina, sangre, pelusa, lavazas y residuos de la carne y grasas de las canales, los suelos, los utensilios, alimentos no digeridos por los intestinos, las tripas de los animales sacrificados y a veces vapor condensado procedente del tratamiento de los despojos (Veall 1993).

1.2.2. Delimitación del problema

Los mataderos industriales en la ciudad de Estelí, tienen una capacidad de procesar alrededor de 300 cerdos por día. “Estamos hablando que en cinco días operarios,

él (matadero) podría afanar 1 mil 500 cerdos, alrededor de 6 mil cerdos mensuales”, se calcula que tendrían unos 70 mil cerdos por año, (Viva Nicaragua 2019), esto resulta beneficioso para la economía de la Ciudad, pero estos residuos son tirados al campo esperando que aves de rapiña (zopilotes) lleguen a consumirla. Los residuos cárnicos provocan una serie de afectaciones a la salud humana y al entorno físico, debido a esto el estudio se realizó en Estelí por que se tiene el apoyo de la facultad regional multidisciplinaria FAREM-ESTELI y se tendrá el apoyo de un tutor para dicha investigación. Así como el uso de información e instrumentos que se necesitaran para la investigación.

1.2.3. Formulación del problema

A partir de la caracterización y delimitación del problema antes expuesta, ¿Cómo se evaluarán residuos cárnicos porcinos para la producción de biogás, mediante biodigestores de laboratorio de tipo batch en UNAN-FAREM Estelí, en el año 2021?

1.2.4. Sistematización del problema

1. ¿Cuáles son las propiedades fisicoquímicas de los sustratos cárnicos que permiten la generación de biogás?
2. ¿Cómo establecer correlaciones entre los parámetros naturales y de funcionamiento del proceso de biodegradación anaeróbica en biodigestores tipo Batch?
3. ¿Cuánto sería la producción de biogás proveniente de diversas mezclas de residuos cárnicos generado en un biodigestor que se sometan a dicho proceso?

1.3. JUSTIFICACION

La presente investigación es conveniente porque es una forma de aprovechar los elementos obtenidos en este proceso de transformación de materiales. El biogás es producido a partir de la biofermentación anaerobia de la materia orgánica, esta se ha convertido en los últimos años en una de las alternativas más atractivas. El uso del biogás en comunidades rurales para satisfacer las necesidades de energía para la cocción de alimentos utilizando residuos orgánicos, (Prieto y Fajardo 2015). En este estudio los residuos a utilizar para la generación de biogás son los desechos cárnicos.

Este estudio resulta de suma importancia debido que con la evaluación de los residuos cárnicos en un biodigestor de laboratorio tipo batch, se formula una opción para que se reingrese la materia orgánica como generadora de energía; y de esta forma puedan implementarse tecnologías para así permitir hacer un buen manejo de los desechos cárnicos contribuyendo a reducir la contaminación ambiental.

El uso de los residuos para producir biogás tiene relevancia social ya que se han venido adquiriendo en las últimas décadas una mayor conciencia sobre el deterioro que algunas prácticas tradicionales han ocasionado al medio ambiente y a la calidad de vida. Como consecuencia de ello, la comunidad viene exigiendo que se establezcan prácticas y procesos que protejan los recursos naturales y aseguren una oferta de consumo limpios para las presentes y futuras generaciones, (Ramirez F y Guerrero E 2004).

La evaluación de los desechos cárnicos tiene gran importancia porque es necesario implementar medidas ambientales que ayuden a corregir y mitigar los diferentes

impactos ambientales, haciendo un uso adecuado de la materia prima que son los desechos cárnicos en este caso.

1.4. OBJETIVOS DE INVESTIGACION

1.4.1. Objetivo general

Determinar el potencial de biogás a partir de residuos cárnicos mediante biodigestores de laboratorio de tipo batch, en el año 2021

1.4.2. Objetivos específicos

1. Identificar las propiedades fisicoquímicas de los desechos cárnicos que permiten la generación de biogás.
2. Establecer correlaciones entre los parámetros naturales y de funcionamiento del proceso de biodegradación anaeróbica en biodigestores tipo Batch.
3. Determinar la producción de biogás proveniente de diversas mezclas de desechos cárnicos generado en un biodigestor que se sometan a dicho proceso.

CAPITULO II

II. Antecedentes de la investigación

2.1. Antecedentes Internacionales

Las primeras menciones del Biogás se ubican en el año de 1600, cuando fue identificado por varios científicos como un gas proveniente de la descomposición de la materia orgánica. Posteriormente, en el año 1890 se construye el primer biodigestor a escala real en la India, y en 1896, en Inglaterra las lámparas de alumbrado público eran alimentadas por el gas recolectado de los digestores que fermentaban los lodos cloacales de la ciudad, (Doroteo Otlica 2012).

En África desde 2009 se desarrollan programas nacionales de desarrollo del mercado y del sector de biodigestores en cinco países de África (Burkina Faso, Etiopía, Kenya, Uganda y Tanzania). Estos programas se inician con la creación de demanda mediante la promoción acerca de qué es un biodigestor y cuáles son sus beneficios para el agricultor familiar campesino que produce cultivos y cría algunos animales (vacunos o porcinos). Paralelamente se capacitan albañiles en la construcción de biodigestores de ladrillos. La idea básica es que estos albañiles se conviertan en pequeñas empresas que venden biodigestores a las familias campesinas. Para cubrir el costo de los biodigestores (US\$500-700 para un digestor de 6 m³) se organiza también la provisión de créditos mediante organizaciones microfinancieras o cooperativas de ahorro y crédito, (Oppenoorth 2015).

En todos los países latinoamericanos se ha dado un proceso similar en la difusión e implementación de los biodigestores. En la década de los 70 y 80, en la mayoría de países, se realizaron las primeras instalaciones de biodigestores, normalmente domo fijo, en proyectos auspiciados por la Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ) y vinculados a universidades públicas. Estos proyectos permitieron probar la tecnología, desarrollar investigación sobre el uso del fertilizante producido y adaptar motores para que funcionasen a biogás, (Martí Herrero 2019).

- Chicatto Gasperín, y otros (2019), en la ciudad de Mexico en esta Investigación se estudio producción de biogás mediante codigestión de estiércol bovino y residuos de cosecha de tomate, Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2×2 , con dos niveles de estiércol y dos niveles de pH inicial. Se encontró que al ajustar el pH inicial a 7.5 usando 20 o 50 % de estiércol, se duplicó la producción total de biogás y de metano, donde se utilizó 50 % de estiércol y 50 % de residuos de cosecha de tomate, se alcanzó un contenido de metano de 45 %, que es el mínimo para utilizarse como combustible; empleando 20 % de estiércol y 80 % de residuos de cosecha de tomate se produjo de 35 a 37 % de metano. La proporción 50:50 estiércol:residuos de cosecha de tomate, fue el mejor sistema para producir biogás combustible (pág. 539).
- Sogari, y otros (2016), En argentina se estudio la generación de biogás a partir de la degradación de residuos orgánicos de frigoríficos, se armaron 8 reactores a escala de laboratorio y un digestor de 200 l instalado a campo abierto. Las temperaturas de trabajo en ambas situaciones fueron entre 25 y 35 °C, tiempo de retención hidráulico 30 días, y el contenido de estiércol en la suspensión: 10%, 25%, 50% y 100% en el laboratorio y 50% en el digestor de campo Se midieron la cantidad de biogás generado y acumulado. La concentración de metano en el biogás generado a campo abierto varió entre

45% y 60%. Se concluyó que el tratamiento anaerobio del efluente colectado en el frigorífico es una opción de depuración biológica y técnica, (pág.33).

- Ventura Irías, (2014), En Honduras se estudio la productividad de metano a partir de residuos de cultivo de maíz y frijol, Se evaluó la productividad de metano a partir de los residuos de maíz y frijol, procesando los sustratos por separado y en codigestión, como resultado con porcentajes de 30:70, 50:50 y 70:30 de maíz y frijol respectivamente. Ambos sustratos pueden utilizarse para la producción de metano en forma individual o en codigestión, sin embargo la mejor productividad fue registrada para el residuo de maíz operado a una carga orgánica de 4 kg SV/m³ dando como resultado un IPM de 0.288 m³ CH₄/ kg SV, (pág. 29).

Antecedentes Nacionales

Se han presentado diferentes estudios con el objetivo de investigar y evaluar un biodigestor para la obtención de biogás mediante el proceso de digestión anaeróbica. A continuación, se mencionan algunos.

Detallan a continuación:

- Reyes Aguilera, (2019). En su tesis doctoral estudio la generación de biogás, mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos, en la zona rural de Estelí, en el período 2016-2018, caracterizo las propiedades básicas de la materia orgánica utilizada en el estudio, mediante modelos lineales generales y mixtos permitió demostrar

que, el sustrato orgánico de caballo y cerdo son mejores en cuanto a sus sólidos volátiles, el sustrato de gallinaza que en la prueba presento un bajo nivel de volatilidad. En el análisis DBO5 la gallinaza y el efluente del biodigestor con sustratos de cerdo requieren una gran cantidad de oxígeno para descomponer la materia orgánica contenida en el agua (pág 167).

- Toruño S, Casco D, & Lira, (2016). En la tesis se estudió la producción de biogás por medio del proceso de digestión anaerobia no controlada a partir de diversos sustratos orgánicos en la Facultad Regional Multidisciplinaria (FAREM – ESTELÍ), II Semestre de 2016. Tuvo como propósito desarrollar un estudio de producción de biogás por medio del proceso de digestión anaerobia no controlada a partir del aprovechamiento y caracterización de diversos sustratos orgánicos. el biogás generado en la fermentación de los sustratos estudiados puede utilizarse en estufas convencionales, como una forma de energía sustentable que funcionan a base de dicho combustible son una más de las alternativas energéticas sustentables en comunidades rurales (pág 80).
- Sánchez Ruíz y Calero Montano, (2013). En esta tesis se evaluo la obtención de Biogás a partir de la mezcla estiércol bovino– agua mediante la construcción de un Biodigestor tipo Batch a escala de laboratorio, perteneciente al Departamento de Química de la Facultad de Ciencias e Ingenierías de la UNAN – Managua, febrero - Julio 2013. Esta investigación está basada en evaluar las condiciones óptimas del estiércol /agua para la producción de biogás, tomando en cuenta que la instalación del sistema de bioconversión sea efectivo a escala de laboratorio y posteriormente estimar el medio óptimo estiércol/agua de bovino para producir el biogás; se concluye, que la producción de biogás por medio de un biodigestor es una herramienta alternativa para reducir la contaminación ambiental por materia orgánica en descomposición en empresas agropecuarias, en fincas para pequeños productores y además son una fuente de producción de energía

renovable que representa un ahorro económico y reduce la utilización de madera o gas propano de uso casero (pág. 90).

- Sanabria Videll, Sanchez Melgara, & Rodaz Espinoza, (2018). En esta investigación se estudio la generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia a partir de aprovechamiento de sustratos orgánicos (pasto y aserrín), en la ciudad de Estelí en el año 2017, se desarrolló este estudio donde la producción de biogás por medio del proceso de digestión anaerobia no controlada a partir del aprovechamiento y caracterización de diversos sustratos orgánicos como son en aserrín y el pasto, Los instrumentos utilizados fueron: formato de registro de la producción de biogás y recolección de datos, hornos eléctricos, balanzas analíticas, termómetros, pH metros. Se demostro que el sustrato orgánico aserrín es el mejor en cuanto a los sustratos utilizados, sin embargo, si existen diferencias estadísticamente significativas con el sustrato de pasto que en la prueba presento un bajo nivel de volatilidad (pág. 89).
- Averzuz Siles y Cruz Aguirre, (2015). En su estudio se evaluó la producción de biogás y porcentaje de descontaminación de dos biodigestores tubulares plásticos alimentados con estiércol porcino y bovino en la Hacienda Santa Rosa, UNA-Managua, La finalidad de esta investigación fue evaluar la producción de biogás en Biodigestores tubulares plásticos alimentados con estiércol porcino y bovino, para este experimento se utilizaron dos Biodigestores tubulares plásticos, Durante el desarrollo del experimento se midieron las variables. En los resultados de la producción de estiércol se demuestra que hay diferencias estadísticas significativas, encontrando que hubo mayor producción de biogás proveniente de estiércol porcino (pág. 33).

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Biomasa

Se define biomasa como la fracción biodegradable de los productos, residuos y desechos de origen biológico procedentes de actividades agrarias, incluidas las sustancias de origen vegetal y de origen animal, de la silvicultura y de las industrias conexas, incluidas la pesca, así como la fracción biodegradable de los residuos, incluidos los residuos industriales y municipales de origen biológico, (DIRETIVA UE, 2018).

La biomasa es, por tanto, materia orgánica utilizada como fuente energética. Por su amplia definición, la biomasa abarca un amplio conjunto de materias orgánicas que se caracteriza por su heterogeneidad, tanto por su origen como por su naturaleza. La valoración de la biomasa puede hacerse a través de cuatro procesos básicos mediante los que puede transformarse en calor y electricidad: combustión, digestión anaerobia, gasificación y pirolisis, (Falcon 2021).

2.2.2. Procesos de biodigestión

El correcto manejo de los residuos orgánicos se logra a través de diferentes tratamientos que implican un reciclaje de estas materias orgánicas, transformándolas en productos con valor agregado. El reciclaje de materia orgánica ha recibido un fuerte impulso con el alto costo de los fertilizantes químicos, con la búsqueda de alternativas no tradicionales de energía, así como también, la necesidad de vías de descontaminación y eliminación de residuos. La población microbiana juega un importante papel en las transformaciones de estos residuos orgánicos especialmente si se considera que disponen de un amplio rango de respuestas frente a la molécula de oxígeno, componente universal de las células. Esto permite establecer bioprocesos en función de la presencia o ausencia de oxígeno, con el objeto de tratar adecuadamente diversos residuos orgánicos, (FAO 2011).

2.2.2.1. Digestión aeróbica

La digestión aeróbica consiste en procesos realizados por diversos grupos de microorganismos, principalmente bacterias y protozoos que, en presencia de oxígeno actúan sobre la materia orgánica disuelta, transformándola en productos finales inocuos y materia celular.

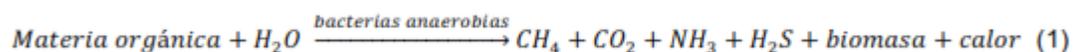
Al comienzo, el proceso de digestión aeróbica tuvo escasa aceptación, debido a que se desconocían sus principios fundamentales, además de que encarecían los costos del tratamiento por la cantidad adicional de energía necesaria para el suministro de aire al proceso. En contraste, los procesos de digestión anaeróbica permiten utilizar el metano generado como fuente de energía. La principal ventaja del proceso aeróbico es la simplificación en las operaciones de disposición de los lodos comparada con la relativa complejidad operativa del proceso de digestión anaeróbica, (Varnero 2011).

2.2.2.2. Digestión anaerobia

En la digestión anaeróbica, los microorganismos metanogénicos desempeñan la función de enzimas respiratorios y, junto con las bacterias no metanogénicas, constituyen una cadena alimentaria que guarda relación con las cadenas enzimáticas de células aeróbicas. De esta forma, los residuos orgánicos se transforman completamente en biogás que abandona el sistema. Sin embargo, el biogás generado suele estar contaminado con diferentes componentes, que pueden complicar el manejo y aprovechamiento del mismo, (FAO 2011).

Según el instituto para la diversificación y ahorro de energía IDAE, (2007). La digestión anaerobia es un proceso biológico en el que la materia orgánica en ausencia de oxígeno y mediante la acción de un grupo de bacterias específicas, se descompone en productos gaseosos o “biogás” (CH₄, CO₂, H₂, H₂S, etc.).

Según Galvez (2017), es un proceso biológico en el cual un consorcio de diversos microorganismos interactúa entre sí, en ausencia de oxígeno, para estabilizar la materia orgánica por conversión a metano y otros productos inorgánicos incluyendo agua y dióxido de carbono, tal como se muestra en la ecuación 1:



2.2.3. Principios físicos, químicos que conducen a la generación de biogás

La generación de biogás, mezcla constituida fundamentalmente por metano (CH₄) dióxido de carbono (CO₂), y pequeñas cantidades de hidrógeno (H₂), sulfuro de

hidrógeno (SH_2) y nitrógeno (N) constituye un proceso vital dentro del ciclo de la materia orgánica en la naturaleza, (Hilbert 2003).

2.2.4. Etapas de la digestión anaeróbica

Existen diversos estudios bioquímicos y microbiológicos que dividen el proceso de digestión anaerobia en cuatro etapas:

1. Hidrólisis.
2. Etapa acidogénica y acetogénica
3. Etapa metanogénica

2.2.4.1. Hidrolisis

La materia orgánica polimérica no puede ser utilizada directamente por las bacterias a menos que se hidrolice en compuestos solubles, los cuales si pueden atravesar la membrana celular. La hidrolisis es, por tanto, el primer paso necesario para la degradación anaerobia de los sustratos orgánicos complejos. Esta etapa es llevada a cabo por enzimas extracelulares excretadas por las bacterias fermentativas y puede ser la fase limitante de la velocidad del proceso global en aquellos casos en que se traten de residuos con alto contenido en sólidos.

Cualquier sustrato orgánico se compone de cuatro tipos básicos de macromoléculas: hidratos de carbono, proteínas, lípidos y material lignocelulósico, (Red Española de Compostaje 2015).

2.2.4.2. Acidogénesis y acetogénesis

2.2.4.2.1. La acidogenesis

La acidogenesis también llamada fermentación. Es un proceso microbiano anaeróbico, por el cual los monosacáridos y aminoácidos se degradan a compuestos más simples. Los productos de este proceso son ácidos grasos volátiles (VFA o ácidos grasos de cadena corta), alcoholes, dióxido de carbono e hidrógeno. Los principales VFA son ácido acético, butírico, valérico y propiónico. Los factores más importantes para esta etapa son el nivel de pH en el digestato y la presión parcial de hidrógeno, (Nuñez 2016).

2.2.4.2.2. La acetogenesis

La acidogénesis genera ácido acético, hidrógeno, dióxido de carbono, VFA, etanol y compuestos aromáticos. Los tres primeros pueden ser convertidos directamente en metano por los microorganismos metanogénicos. Sin embargo, el etanol, VFA y compuestos aromáticos necesitan de una etapa previa: la acetogénesis.

Los productos de la acetogénesis son ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono. Los microorganismos acidogénicos requieren de bajas presiones parciales de hidrógeno para poder existir, menores a 10^{-4} atm. Si la concentración de hidrógeno aumentase, la actividad de los microorganismos va decreciendo hasta finalmente detenerse, esto causa acumulación de ácidos lo cual finalmente inhibe a las bacterias productoras de metano de la siguiente etapa (Nuñez 2016).

2.2.4.3. Metanogénesis

En esta etapa los productos de la acetogénesis (ácido acético, H₂ y CO₂) son convertidos en metano y dióxido de carbono. El 70% del metano se produce a través

de la transformación del ácido acético en metano y CO₂ (vía acetoclástica) y el resto a través de la transformación del H₂ y CO₂ en metano y agua (vía hidrogenotrófica). Sin embargo, la vía hidrogenotrófica es necesaria para regular el nivel de presión parcial de hidrógeno en el digestato, lo cual es indispensable para la existencia de los microorganismos de la acetogénesis. Los microorganismos metanogénicos son muy sensibles a los cambios de temperatura, nivel de pH y alcalinidad del digestato, (Nuñez 2016).

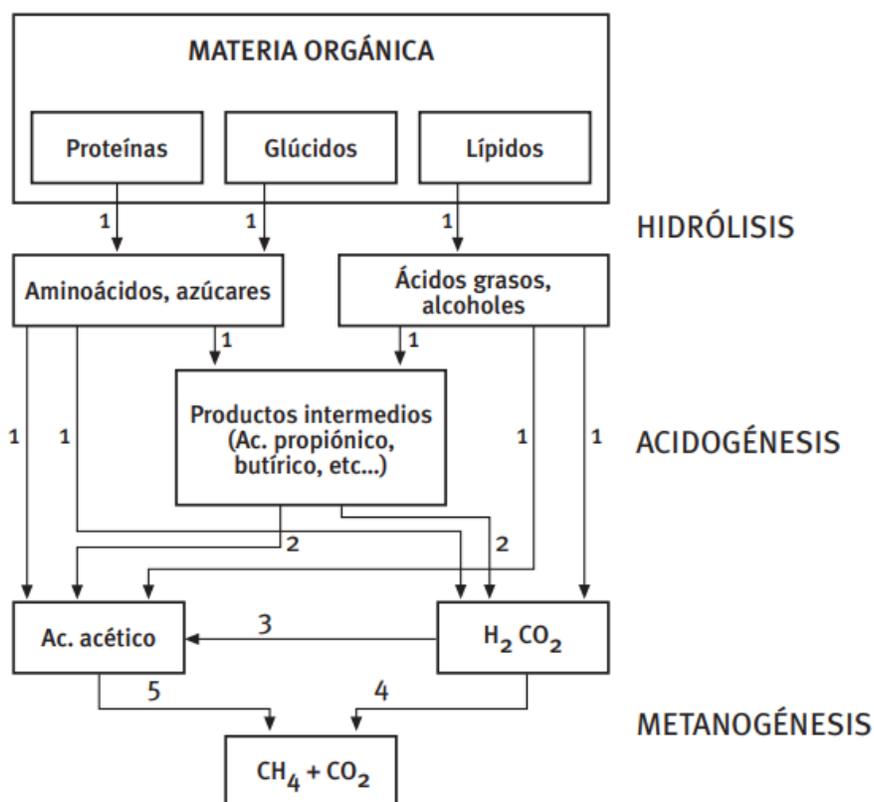


Figura 1 Fases de la fermentación anaerobia y poblaciones de microorganismos. Fuente: IDAE (2007).

2.2.5. Parámetros Físico-químicos de control

Existe una gran cantidad de análisis químicos y físicos, que se pueden hacer tanto a los sustratos como al material dentro de un biodigestor, que permiten entender

cómo está funcionando el sistema y estimar cuáles van a ser los rendimientos potenciales. A continuación, se explican los factores que resultan claves para garantizar el funcionamiento de un biodigestor, relativos a aspectos físicos o químicos, y cómo se relacionan con la tecnología, (Casanovas, y otros 2019).

2.2.5.1. Ph

El pH es un indicador de la acidez de una materia orgánica. El consorcio bacteriano que desarrolla la digestión anaerobia suele gustar de estar en ambientes con pH entre 6.5-7.5 (7 es el valor neutro de pH). Dentro del consorcio bacteriano, las bacterias que realizan la etapa de acidogénesis y acetogénesis trabajan mejor en pH 5.5 y 6.5, mientras que las metanogénicas lo hacen en un rango 7.8 a 8.2.

La mayoría de estiércoles tienen valores en ese rango, siendo que el estiércol de cerdo es más ácido y el de vaca más neutro. Influye el agua con que se mezcla la materia orgánica, si tiene pH muy bajo o muy alto puede resultar que el biodigestor que esté fuera del rango óptimo del consorcio de bacterias, (Marti Herrero 2019).

2.2.5.2. Potencial Redox

Es conveniente mantener el valor del potencial redox por debajo de -300 mV o -330 mV para asegurar el ambiente fuertemente reductor que las bacterias metanogénicas necesitan para su óptima actividad, (Diaz 2013).

2.2.5.3. Temperatura

La temperatura de operación del digestor, es considerada uno de los principales parámetros de diseño, debido a la gran influencia de este factor en la velocidad de digestión anaeróbica. Las variaciones bruscas de temperatura en el digestor pueden gatillar la desestabilización del proceso. Por ello, para garantizar una temperatura homogénea en el digestor, es imprescindible un sistema adecuado de agitación y un controlador de temperatura.

Existen tres rangos en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos: psicrófilos (por debajo de 25°C), mesófilos (entre 25 y 45°C) y termófilos (entre 45 y 65°C), siendo la velocidad máxima específica de crecimiento (μ_{max}) mayor, conforme aumenta el rango de temperatura. Dentro de cada rango de temperatura, existe un intervalo para el cual dicho parámetro se hace máximo, determinando así la temperatura de trabajo óptima en cada uno de los rangos, (Varnero 2011).

Tabla 1 Rango de temperatura en los que trabajan los organismos anaeróbicos

Fermentación	Mínimo	Optimo	Máximo	Tiempo de retención hidráulica(TRH)
Psicrofilica	4-10 °C	15.18 °C	20-25 °C	Más de 100 Días
Mesofilica	15-20 °C	25-35 °C	35-45 °C	30-60 Días
Termofilica	25-45 °C	50-60 °C	75-80 °C	10-15 Días

Fuente: Renovables (2019).

2.2.5.4. Tiempo de retención hidráulica

Es el cociente entre el volumen y el caudal de tratamiento, es decir, el tiempo medio de permanencia del influente en el reactor, sometido a la acción de los microorganismos, (IDAE 2007).

Para dimensionar un biodigestor resulta necesario conocer la tasa diaria de alimentación y el TRH. Esta última variable guardará una relación directa con la temperatura de operación elegida, (Casanovas, y otros 2019).

Ecuación 2.

$$TRH(dias) \times Cantidad\ de\ carga\ \left(\frac{m^3}{dia}\right) = Volumen\ Util\ del\ Biodigestor\ (m^3)$$

2.2.5.5. Velocidad de carga orgánica

La velocidad de carga orgánica (VCO) se define como la cantidad de materia orgánica alimentada por volumen de biodigestor en un determinado periodo de tiempo. En ausencia de inhibidores, altas cargas orgánicas proporcionan altas producciones de metano aunque también aumenta el riesgo de sobrecargas puntuales que conllevan a la acidificación del reactor provocando un descenso del pH y el posible fallo del sistema, (Diaz 2013).

Conociendo el volumen del biodigestor se puede calcular su carga máxima con la ecuación 3.

$$Q = V / TR$$

Donde:

$$V = volumen\ del\ reactor\ [L]$$

$$TR = tiempo\ de\ residencia\ [días]$$

$$Q = carga\ de\ RSU\ [L/día]$$

2.2.5.6. Solidos Volátiles y solidos totales

Los sólidos totales (ST) toda su materia orgánica está compuesta de agua y una fracción sólida llamada sólidos totales (ST). Matemáticamente podemos mostrarlo así:

%ST: porcentaje de Sólidos Totales = gramos de Sólidos Totales /100 g de mezcla El porcentaje de sólidos totales contenidos en la mezcla con que se carga el digester es muy importante, ya que la movilidad de las bacterias se ve crecientemente limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos y por lo tanto puede verse afectada la eficiencia y producción de gas.

Los Sólidos Volátiles (S.V.) son aquella porción de sólidos totales que se libera de una muestra, volatilizándose cuando se calienta durante dos horas a 600°C. Los SV contienen componentes orgánicos, los que teóricamente deben ser convertidos a metano. La expresión matemática de los mismos es:

%SV: porcentaje de Sólidos Volátiles = gramos de Sólidos Volátiles /100 g de ST Para saber calcular las mezclas, debemos saber cuál es el contenido de sólidos de los sustratos (tabla 2).

Tabla 2 Porcentajes de Solidos Totales

Residuo	% de solidos totales
Porcinos	15-49
Estiércol Vacuno	18-20
Gallinaza	35
Ovejas	32-45
Caprino	83-92
Excretas humanas	17

Fuente: Renovables (2019).

Por ejemplo, en el caso del estiércol de bovino fresco, suponiendo que tiene un 20% de sólidos totales y se quiere diluir esta carga a un 5% de sólidos totales, para saber cuánta agua se debe agregar por kilo de excretas frescas, se realiza el siguiente cálculo con la ecuación 4, (Varnero 2011).

$$\% ST. (Carga diluida) = \frac{1 \text{ kg excreta} * \% S.T. excreta fresca}{1 \text{ kg excreta fresca} + \text{agua agregada}}$$

$$0.05 = \frac{1 * 0.20}{1 + W \text{ agua}} = 0.05 + 0.05W \text{ agua} = 0.20$$

$$W \text{ agua} = \frac{0.15}{0.05} = 3 \text{ litros/kg excreta fresca}$$

2.2.5.7. Relación carbono/nitrógeno del sustrato

El carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas. El carbono constituye la fuente de energía y el nitrógeno es utilizado para la formación de nuevas células. Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que la relación óptima de estos dos elementos en la materia prima se considera en un rango de 30:1 hasta 20:1, (Varnero 2011).

Según Academia Renovables, (2019), los sustratos con una relación C/N < 8:1 se inhibe la actividad bacteriana debido a la formación de un excesivo contenido de amonio, el cual en grandes cantidades es tóxico e inhibe el proceso. Cuando no se tiene un residuo con una relación C/N inicial apropiada, podemos realizar mezclas

de materias. Para calcular dicha mezcla, contamos con la ecuación 5, (Varnero 2011).

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

$K = \frac{C}{N}$ de la mezcla de materias primas.

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

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

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

Desde el punto de vista práctico es aconsejable manejarse con medidas volumétricas y determinar los parámetros: Densidad (D), Masa (M) y Volumen (V) a partir de la fórmula:

$D = M/V$, expresando la masa en kilos o toneladas y el volumen en litros o metros cúbicos, (Varnero 2011).

2.2.6. Tipos de Biodigestores

Los biodigestores varían ampliamente de acuerdo con su complejidad y utilización. Los más sencillos caen dentro de la clasificación de digestores discontinuos o de cargas por lotes y los más complejos se caracterizan por poseer dispositivos que permiten alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación, resulta conveniente clasificarlos según su modo de operación con relación a su alimentación o carga en los siguientes tipos, (Varnero 2011):

- Biodigestor
- continuo.

- Biodigestor discontinuo.
- Biodigestores Semi-continuos.
- Biodigestores de flujo pistón o tubular.
- Modelo indio.
- Modelo chino.

2.2.6.1. Biodigestor Tipo Batch

Este tipo de biodigestor se carga una sola vez en forma total y la descarga se efectúa una vez que ha dejado de producir gas combustible. Normalmente consiste en tanques herméticos con una salida de gas conectada a un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás. Este sistema es aplicable cuando la materia a procesar está disponible en forma intermitente. En este tipo de sistemas se usa una batería de digestores que se cargan a diferentes tiempos para que la producción de biogás sea constante. Este tipo de digestor es también ideal a nivel de laboratorio si se desean evaluar los parámetros del proceso o el comportamiento de un residuo orgánico o una mezcla de ellas, (Chavez 2008).

2.2.6.1.1. Ventajas del biodigestor discontinuo

1. Ocupa menor volumen de digestor por volumen de biogás producido, debido a la alta concentración de materia seca en el sustrato (40 – 60%).
2. Ocupa de 60 – 80% menos de agua que los digestores continuos y semi continuos.
3. No forma costra ni necesita agitación diaria.
4. No sufre cambios de temperaturas violentos.

5. Ocupa menos mano de obra, ya que no necesita carga diaria, sino cada 2 o 3 meses para carga y descarga. Durante el resto del tiempo, basta amontonar el material a usar.
6. La mayor parte del bioabono se obtiene en forma sólida, siendo más fácil de esparcir en la preparación de suelos.
7. La corrosión de las tapas de los digestores es menor, debido a que éstas están insertas en un sello de agua.
8. No requiere de cuidados especiales que pueda causar accidentes en la fermentación anaeróbica.

2.2.6.1.2. Construcción de biodigestor

Para construir los biodigestor contamos con 4 recipientes herméticos con un tubo salida conectada a una manguera de gas y este a un neumático, donde se almacena el biogás, esta salida cuenta con una unión T de pvc conectado a la válvula de seguridad (botella de plástico) la que permite liberar la presión interior del gas cuando sobre pasa los límites específicos, a esta se le administra 1/3 de agua y 100 gr de cal. Este recipiente hermético cuenta con una salida de lodos (llave de pase) donde se evalúan los parámetros físico-químicos del biodigestor así mismo se obtiene el producto resultante que es el biol.

2.2.6.1.3. Materiales a utilizar en la construcción del biodigestor batch

1. 4 envases de plástico de 20 Lt
2. 8 Llave de pase de ½ pvc
3. 4 mangueras para gas
4. 4 Neumaticos
5. 4 codos pvc de ½
6. 4 Union T de pvc

- 7. 8 Adaptador macho pvc de ½ pulg
- 8. 8 Adaptador hembra pvc de ½ pulg
- 9. 4 reductores pvc de ½ pulg
- 10.4 puntas de llave con pico pvc de llave para manguera
- 11.8 bridas
- 12.1 pega pvc
- 13.1 teflon
- 14.1 silicon transparente
- 15.4 botellas de plástico
- 16.4 bolsas de cal de 100 gr
- 17.1 tubo pvc ½ pulg de 6 m.

2.2.7. Biogás

El biogás es un gas producido como subproducto de la descomposición microbiana de la biomasa en ausencia de aire, por la acción de distintos tipos de bacterias, proceso que se conoce como digestión anaeróbica. Se compone principalmente de metano, Tampoco tiene color ni olor y es más ligero que el aire. El biogás se puede usar para quemar en calderas y motores de combustión interna sin enriquecimiento, (Zorg 2021).

La producción de biogás por descomposición anaeróbica es un modo considerado útil para tratar residuos biodegradables ya que produce un combustible de valor además de generar un efluente que puede aplicarse como acondicionador de suelo o abono genérico. Este gas se puede utilizar para producir energía eléctrica mediante turbinas o plantas generadoras a gas, o para generar calor en hornos, estufas, secadoras, calderas u otros sistemas de combustión a gas, debidamente adaptadas para tal efecto, (Panel I Biogas 2010).

2.2.7.1. Composición química

El biogás es el producto gaseoso de la digestión anaerobia de compuestos orgánicos. Su composición, que depende del sustrato digerido y del tipo de tecnología utilizada (tabla 3):

Tabla 3 Características generales del Biogás.

Composición	55 – 70% metano (CH ₄) 30 – 45% dióxido de carbono (CO ₂) Trazas de otros gases
Contenido energético	6.0 – 6.5 kW h m ⁻³
Equivalente de combustible	0.60 – 0.65 L petróleo/m ³ biogás
Límite de explosión	6 – 12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 – 750°C (con el contenido de CH ₄ mencionado)
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	-82.5°C
Densidad normal	1.2 kg m ⁻³
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16.043 kg kmol ⁻¹

Fuente: (Deublein y Steinhauser 2008).

Es un gas combustible que se forma a partir de la descomposición de materia orgánica (biomasa). El compuesto que le da su valor energético es el metano, CH⁴, el cual representa entre un 50 y un 75% del gas. Casi todo lo demás corresponde a dióxido de carbono (CO₂), pero suele tener otros compuestos, los cuales actúan como impurezas y puede ser necesario retirarlos, dependiendo del uso final, (Red de Agrícolas 2013).

2.2.7.2. Sustratos

En la actualidad se han desarrollado métodos para la transformación de residuos en energía y así alcanzar la meta de conservación de los recursos y del ambiente. Una forma de obtener energía a partir de los residuos es mediante la digestión anaeróbica. Se pueden utilizar diferentes materias primas para realizar la digestión anaeróbica. De esta manera, los sustratos susceptibles de usar en el sistema de digestión anaerobia de la estación experimental serán los residuos de origen animal.

- **Residuos de origen animal:** Purín de vacunos, cerdos, pavos, pollos, etc., camas de aves, desechos de matadero (sangre, vísceras), desperdicios de pesca, restos de lana y cuero, desechos de establos (estiércol, orina y paja), (Varnero 2011).

2.2.7.2.1. Residuos cárnicos

Como residuo se entiende todos aquellos principios activos o sus productos de degradación presentes en los tejidos o vísceras de origen animal, los cuales han sido originados por tratamientos previos de los animales con sustancias químicas o bien por la presencia de estos compuestos en el medio ambiente, (Rovira 2008).

La contención de los desechos cárnicos y de los subproductos es una necesidad económica y de higiene pública. La principal fuente de contaminación se encuentra en las aguas residuales de los mataderos que incluyen heces y orina, sangre, pelusa, lavazas y residuos de la carne y grasas de las canales, los suelos, los utensilios, alimentos no digeridos por los intestinos, las tripas de los animales sacrificados y a veces vapor condensado procedente del tratamiento de los despojos.

Para el mantenimiento de unas normas de higiene adecuadas, la industria de elaboración de productos cárnicos está obligada a utilizar grandes cantidades de agua, lo que constituye un factor importante del costo de elaboración. Su tratamiento a posterior en la planta y su descarga final en vertederos aceptables aumenta los gastos generales, por lo que resulta esencial que se utilice el volumen mínimo de agua necesario para alcanzar unas normas higiénicas adecuadas, así como la constante verificación del uso, (Veall 1993).

Efecto de las deyecciones en el ambiente

Los cerdos excretan diariamente, en términos de su peso vivo, en términos generales, aproximadamente un 80% de nitrógeno y el fósforo y cerca del 90% del potasio de su ración. Según esto, el estiércol es un fertilizante y abono del suelo excelente, puede observarse en la tabla 4, (C. Rodriguez 2002).

Tabla 4 Deyecciones de cerdos (orina + heces).

ANIMAL	PESO (KG)	DEYECCIONES PRODUCIDAS (ORINA + HECES KG/DÍA)
Lechón	15	1.04
Cerda	125	4.03
Padrillo	160	4.09

Fuente: (C. Rodriguez 2002).

La industria cárnica es uno de los sectores que más contribuye al cambio climático. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el sector cárnico emite más gases de efecto invernadero que todo el transporte mundial junto (14,5% del total de emisiones), (Coordinación Regional para la Sustentabilidad 2021).

Producción de residuos cárnicos

Según un informe de FAO, (2013), menciona que se pierde 750000 millones de dólares por desperdicios de alimentos que a la vez ocasiona daños en el clima, agua, suelo y biodiversidad; además 1300 millones de toneladas al año lo que genera daños a los recursos naturales y por ende pérdidas económicas.

Algunas empresas pequeñas de alimentos no disponen de métodos que favorezcan con el control de consumo de agua, detergentes o jabones de limpieza o con el aprovechamiento de las materias primas en todo el procedimiento, ya que al ser contabilizados se podría disponer estándares de comparación entre el incremento de carga 25 contaminante, y así tomar decisiones para dar solución a dichas circunstancias, (Velasco Rojano 2021).

Composición y cantidad media de residuos procedentes de un cerdo sacrificado, (tabla 5).

Tabla 5 Produccion de residuos cárnicos.

Cerdo sacrificado (Kg/res)	Peso	TS*	Nitrógeno	Fósforo
Contenido del estómago e intestinal	7	0,7	0,02	0,015
Materiales de bajo riesgo, exceptuando la sangre	17	5,2	0,47	0,079
Sangre	3	0,6	0,08	0,001
Materiales de alto riesgo	1	0,3	0,03	0,005
TOTAL	28	6,9	0,60	0,100

Fuente: Tenerife (2011).

Producción de biogás

La industria alimentaria tiene elevado potencial energético (como los residuos cárnicos, ricos en grasas y proteínas), esto combinado con residuos parcialmente biodegradados (deyecciones animales, fangos de depuradora, etc.), puede incrementar la producción específica de metano y unificar así la gestión de diferentes residuos, (Residuos Profesional 2017).

Produccion de biogás por m^3/tn con residuos de mataderos, (tabla 6).

Tabla 6 Produccion de biogás por m^3/tn .

Fracción de residuo	Producción de metano (m^3/tn)
Subproductos animales (pasteurizados)	225
Subproductos animales (no pasteurizados)	56
Mezcla de residuos de matadero	160
Residuos domésticos recogidos selectivamente	130
Estiércol	13

Fuente: (Tenerife 2011).

2.2.8. Metodología para evaluar la producción de biogás

Para realizar la estimación del volumen total de producción de biogás, se monitorea el biodigestor. Para esto se hace uso de una cámara de gas totalmente hermética (neumático). Para los cálculos se siguen los siguientes pasos y consideraciones, (Aliaga Orellana 2006):

- Se pesó inicialmente el neumático tratando de quitarle la mayor cantidad de aire presente en él.
- Cada dos días se pesó el neumático para estimar la cantidad de gas producido en ese lapso de tiempo.
- Al peso obtenido en cada medición se le resto el peso del neumático para aproximar de esa manera el peso del biogás contenido en la cámara.
- Al peso del biogás se le dividió la densidad del biogás que es de 1.2 g /L con esto se obtuvo el volumen de biogás acumulado hasta la fecha de muestreo.
- Para aproximar la cantidad total de biogás producido por x cantidad galones de desechos, se realizó la suma de la cantidad producida en cada intervalo de tiempo (2 días) de todas las mediciones. Se decidió tomar este intervalo ya que se deseaba obtener una curva detallada del comportamiento de producción de biogás.
- Las mediciones se realizan hasta el día 45 de retención. Por razones de logística y tiempo.

2.2.9. Marco regulatorio sanitario y de manejo de residuos cárnicos

2.2.9.1. Manejo de los residuos cárnicos en los mataderos

La prevención y contención de los desechos de la carne es una necesidad económica y de higiene pública. La principal fuente de contaminación se encuentra en las aguas residuales de los mataderos que incluyen heces y orina, sangre,

pelusa, lavazas y residuos de la carne y grasas de las canales, los suelos, los utensilios, alimentos no digeridos por los intestinos, las tripas de los animales sacrificados procedente del tratamiento de los despojos.

Para el mantenimiento de unas normas de higiene adecuadas, la industria de productos cárnicos está obligada a utilizar grandes cantidades de agua, lo que constituye un factor importante del costo de elaboración. Su tratamiento posterior en la planta y su descarga final en vertederos aumentan los gastos generales, por lo que resulta esencial que se utilice el volumen mínimo de agua necesario para alcanzar unas normas higiénicas adecuadas.

Medios de eliminación:

1. A una autoridad responsable del tratamiento parcial o total de los desechos urbanos.
2. A vertederos que dan a los océanos sin tratamiento adicional.
3. A una planta de tratamiento de desechos y de allí a las aguas que los reciben.
4. A las instalaciones de riego después de un tratamiento primario y el paso por un tamiz fino, (Veall 1993).

La mayor parte de los países cuentan con leyes de reducción para la contaminación del tratamiento de residuos cárnicos, en los que se establecen normas de manejo que reducirán las formas de contaminación.

Nicaragua no cuenta con un decreto donde las empresas sean obligadas a mejorar el proceso productivo a beneficio del medio ambiente o reduciendo su contaminación, las empresas simplemente omiten cuanto es la producción diaria de los residuos cárnicos en un matadero, haciendo a un lado este factor importante. Estos mataderos cuentan con normas a cumplir en cuanto a la manipulación de los alimentos, almacenamiento de los productos, buenas prácticas de manufactura entre otras. Es importante resaltar la gestión, manejo de los residuos cárnicos y de las implicaciones sobre el ambiente cuando no se hace un manejo adecuado.

2.3. Hipótesis de investigación

Los sustratos cárnicos de los mataderos podrían producir biogás con potencial energético aprovechable; siempre y cuando cumpla con las condiciones paramétricas de funcionalidad de un biodigestor.

CAPITULO III.

3.1. Diseño metodológico

3.2. Tipo de estudio

Por el método de investigación el presente estudio es experimental (Pedroza 2014), según el nivel de profundidad del conocimiento el tipo de estudio es descriptivo (Piura Lopez 2006). De acuerdo al tiempo de ocurrencia de los hechos y registro de la información, el estudio es prospectivo, por el periodo de secuencia del estudio es transversal, De acuerdo a la clasificación de (Hernandez, Fernandez y Baptista

2014), el tipo de estudio es Correlacional. De acuerdo al alcance de los resultados el estudio es analítico (Alvarado, Canales y Pineda 1994).

En cuanto al enfoque filosófico, el presente estudio se fundamenta en la integración sistemática de los métodos, por tanto, el presente estudio se realizará mediante un enfoque cuantitativo, debido a que cada etapa precede a la siguiente y no se puede brincar o eludir pasos, tiene que ver con la cantidad, por tanto; su medio principal es la medición y el cálculo. En general, busca medir variables con referencias a magnitudes (Hernandez, Fernandez y Baptista 2014).

3.1.2. Área de estudio

3.1.2.1. Ubicación geográfica

Geográficamente el área de estudio se encuentra situada en el Departamento Estelí, en la Facultad Regional Multidisciplinaria FAREM-ESTELI, con coordenadas geográficas Latitud: 13.1002, Longitud: -87.37, 13° 5' 59", lugar donde se evaluaron los sustratos, así mismo se instalaron las unidades de análisis experimental. El estudio de este proceso investigativo se llevó acabo en el laboratorio de la Facultad.



Figura 2 Ubicación de la Facultad Regional Multidisciplinaria FAREM-ESTELI, Fuente: google maps.

3.1.2.2. Área de conocimiento

La presente investigación se inscribe a la línea IIC-1 Innovación, tecnologías y medio ambiente, la sublínea es IIC-1.1: ENERGÍA RENOVABLE pertenecientes a la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN-MANAGUA), y aprobados en sesión ordinaria N° 14-2021, del 09 de julio de 2021.

3.2. Universo y muestra

Según Tamayo y Tamayo (2003) el universo es cuando se toma la totalidad de la población y, por ello, no es necesario realizar un muestreo y define a la Muestra como la población cuantificada, En esta investigación se trata de evaluar los residuos cárnicos.

Dado que esta investigación se realiza por método experimental, su espacio inferencial representativo que le corresponde definido por el número de repeticiones y el número de tratamientos, para la caracterización de los sustratos y tratamientos en comparación: Residuos cárnicos. Las unidades experimentales estarán constituidas por 4 biodigestores tipo batch, con diversas proporciones de sustratos y 4 repeticiones experimentales, por lo tanto, la muestra fue de dieciséis. Este principio está basado en la función de distribución de probabilidad de la Prueba de Fisher, que se define en el escenario de las muestras pequeñas donde “n” debe ser igual o menor de 30.

3.3. Matriz de Operacionalización de variables (MOVI)

Objetivo general: Determinar el potencial de biogás a partir de residuos cárnicos mediante biodigestores de laboratorio de tipo batch, en el año 2021.

Objetivos	Variable	Sub variables	Indicador	Técnicas de recolección
- Identificar las propiedades fisicoquímicas de los desechos cárnicos que permiten la generación de biogás.	- Las propiedades fisicoquímicas de los desechos cárnicos y la mezcla de desechos cárnicos + excretas de porcino.	-Masa húmeda. -Masa seca. -Sólidos Volátiles o cenizas -Relación carbono/nitrógeno	-Cantidad de agua existente en la materia prima. -Peso restante de la materia seca que queda después del secado. Peso de la materia seca que queda después del secado. -Permite conocer la capacidad mineralizadora del residuo sólido en procesos de recuperación y aprovechamiento de la materia orgánica.	-Experimento de laboratorio

<p>-Establecer correlaciones entre los parámetros naturales y de funcionamiento del proceso de biodegradación anaeróbica en biodigestores tipo Batch.</p>	<p>- parámetros naturales y de funcionamiento.</p>	<p>- Temperatura. -Ph -Tiempo de retención.</p>	<p>-Temperatura en los que trabajan los organismos anaeróbicos - Ambiente adecuado para el desarrollo de las bacterias. -Tiempo en que fueron sometidos a la acción los residuos cárnicos.</p>	<p>-Experimento de campo</p>
<p>- Determinar la producción de biogás proveniente de diversas mezclas de residuos cárnicos generado en un</p>	<p>- Causa y efecto.</p>	<p>-Producción de biogás de los desechos cárnicos porcinos y la mezcla de desechos cárnicos porcinos + excretas de porcino, con relación 1:1 y 2:1.</p>	<p>-ml de biogás producido.</p>	<p>-Experimento de campo</p>

biodigestor que se sometan a dicho proceso.				
---	--	--	--	--

3.4. Métodos, técnicas e instrumentos para la recolección de datos e información

Implementación de métodos cuantitativos

El enfoque cuantitativo tiene como base el paradigma positivista este el conocimiento es objetivo (medible), cuantifica los fenómenos observables que son susceptibles de análisis y control experimental, (Ricoy Lorenzo 2005). Se utilizaron formatos de registro de la información elaborados previamente en Excel (Anexo 1 y 2), que sirvieron para el registro de las variables que surjan en la experimentación.

El tipo de diseño a utilizar es completamente al Azar DCA: El diseño se estableció en un DCA. Las características técnicas-experimentales, para el diseño, análisis e interpretación de los datos a obtenerse, se realizaron de acuerdo al método de Fischer, y contrastes ortogonales siguiendo los procedimientos estadísticos establecidos en (Pedroza Pacheco 1993).

3.5. Procedimientos para la recolección de datos e información

El procedimiento que se sigue para la recolección de los datos e información se presentan de acuerdo con cada uno de los objetivos planteados en esta investigación.

Propiedades fisicoquímicas de los sustratos cárnicos que permiten la generación de biogás

El procedimiento a seguir fue de acuerdo a la metodología utilizada por, (Reyes Aguilera 2019).

Primeramente, se realizó la selección del sustrato. Este se escogió tomando en cuenta los siguientes criterios (Reyes Aguilera 2019):

1. La materia se debe encontrar en abundantes cantidades.
2. Debe tener bajo costo de adquisición (o nulo).
3. Debe representar un factor de contaminación ambiental.
4. Debe producir una cantidad de biogás razonable.

El sustrato que se eligió para la producción de biogás son los residuos cárnicos porcinos, estos siendo obtenidos en el matadero Los García del departamento de Estelí. En el DCA contamos con 4 unidades experimentales, con relación 1:1 y 2:1.

Tratamientos (desechos cárnicos)	Desechos cárnicos A; siendo únicamente desechos cárnicos porcinos con relación 1:1	Desechos cárnicos B; siendo únicamente desechos cárnicos porcinos con relación 2:1	Desechos cárnicos C; desechos cárnicos porcinos + excretas de porcino con relación 1:1	Desechos cárnicos D; siendo desechos cárnicos porcinos + excretas de porcino con relación 2:1.
--	---	---	--	---

Esta etapa se realiza mediante una técnica gravimétrica utilizando una balanza analítica, para el pesaje de los sustratos cárnicos. Posteriormente se introducen en un horno, en capsulas de porcelana, con una temperatura de 105°C durante 6 horas.

Posteriormente, las muestras son enfriadas en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente y se aplica nuevamente el proceso de pesado en la balanza analítica para conocer el porcentaje de humedad y masa seca respectivamente, el aumento de peso sobre el peso del crisol vacío representa la cantidad de sólidos totales o masa seca del sustrato.

El porcentaje de humedad se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$Mb = Mh + Ms \quad ec.1$$

Dónde: Mb es la masa bruta o total, Mh masa húmeda, Ms masa seca. A partir de la ec.1 se determinan los porcentajes contenidos de masa húmeda, que se pierde por evaporación tras el secado, y de masa seca, por medio de:

$$M_{rh} \% = \frac{Mh}{Mb} * 100\% \text{ y } M_{rs} \% = \frac{Ms}{Mb} * 100\% \quad ec.2$$

Para llevar a cabo la determinación de los Sólidos Volátiles (SV), se calcina el residuo seco procedente de la determinación de ST se introduce en un horno a una temperatura de 550°C durante 8 horas. Concluido este proceso se procede a la extracción de las muestras, pesándolas para conocer el porcentaje de cenizas y el

contenido de sólidos volátiles presente en las muestras. La disminución de peso del crisol tras la incineración del residuo seco (ST), representa el contenido en SV.

La diferencia a la masa seca menos la de cenizas es la masa de sólidos volátiles:

$$M_{sv} = M_s - M_c \quad ec. 3$$

Después de encontrar los porcentajes de contenido de la masa se calcularon los pesos para los sólidos volátiles y las cenizas en base seca por medio de la siguiente ecuación:

$$M_{rsv}\% = \frac{M_{sv}}{M_s} * 100\% \quad y \quad M_{rc}\% = \frac{M_c}{M_s} * 100\% \quad ec. 4$$

También, se calculó el porcentaje de Carbono Orgánico (CO) a partir de los porcentajes de materia orgánica (Sólidos Volátiles). El porcentaje de CO se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$CO (\%) = \frac{MO}{1,8} \quad ec. 5 \quad \text{Dónde: } 1.8 = \text{factor de conversión}$$

Se estimó el contenido de nitrógeno considerando que el contenido de este elemento forma 5 % de la materia orgánica, (Plaster 2000).

Mediante la obtención de carbono y nitrógeno se obtuvo la relación carbono nitrógeno con la siguiente ecuación, (Bragado Alcaraz y Blanco Jaschek 2019).

$$C/N = CO / N \quad ec. 6$$

Correlación entre los parámetros naturales y de funcionamiento del proceso de biodegradación anaeróbica en biodigestores tipo Batch.

Se realizaron las pruebas para obtener los datos para la comparación de estos

Grado de acidez

Para medir el grado de acidez o Ph, se recolecta líquido de la mezcla a través de la válvula situada en la parte inferior del biodigestor de tipo batch. Para ver en qué valor se encuentra se hace uso del papel indicador de PH, el rango óptimo para la digestión metanogénica es de 6.5 a 7.5, cuando baja de 5 o sube de 8 puede inhibir en el proceso de fermentación o incluso detenerlo.

Rango de temperatura

En este parámetro se dispuso de un termómetro de termopar tipo K, Este se insertó directamente en la parte superior del biodigestor para conocer el régimen de temperatura de operación de los biodigestores, si es psicrófilicas se encuentra menos de 25°C, mesófilicas entre 25°C y 45°C y termófilicas más de 45°C.

Con los datos obtenidos se determina:

1. El efecto de la temperatura sobre la producción de biogás.
2. El efecto del pH sobre la producción de biogás.

3. El efecto de la relación C/N sobre la producción de biogás.

Producción de biogás proveniente de diversas mezclas de residuos cárnicos generado en un biodigestor que se sometan a dicho proceso.

Esta etapa consistió en la construcción de la unidad experimental que consta de 4 biodigestores de tipo batch. Una vez construido el biodigestor, se procede a la recolección de los sustratos cárnicos, se procede a aplicar las relaciones de (sustrato agua), con valores específicos que se determinan una vez iniciada la fase experimental. Se aplica la relación 1:1 en 2 reactores, es decir por cada kilogramo de residuos cárnicos, un litro de agua y se aplica la relación 1:2, es decir por cada 2 kilogramos de residuos cárnicos, un litro de agua. Los reactores tienen una capacidad de 20 litros, se utiliza el 70% para la cámara gaseosa y el 30% para el almacenamiento de biogás.

La cantidad de biogás se cuantifica aplicando una técnica volumétrica que se basa en el desplazamiento de líquido. Para la realización de esta prueba se usan instrumentos de laboratorio tales como: base soporte, nuez doble, y una probeta graduada de 250 ml. Este método consiste en introducir la probeta en un recipiente con agua y dentro de ésta se coloca la manguera de salida del gas hasta la parte superior.

La presión del gas hace que el nivel del agua en la probeta se desplace hacia abajo, por lo tanto, se mide la cantidad de biogás obtenida en cada uno de los sustratos sumando la cantidad de veces que se realiza la prueba hasta que el gas se agota y así obtenemos la producción de biogás, recordando que los biodigestores tuvieron un tiempo de retención de 25 días y luego las respectivas mediciones que se reflejan en el formato de producción de biogás.

3.6. Plan de tabulación y análisis estadístico

A partir de los datos que se recolectan, se diseña la base de datos correspondientes, utilizando el software estadístico InfoStat. Una vez que se realizó el control de calidad de los datos registrados, se realizan los análisis estadísticos pertinentes.

Así mismo, se realiza los análisis inferenciales específicos o prueba de hipótesis, de acuerdo con el compromiso establecido en los objetivos específicos, relacionado con el Análisis de Varianza Univariada (ANOVA de Fisher) y el test de Fisher (prueba de LSD). El procedimiento estadístico fue realizado de acuerdo con (Discovski y Pedroza Estadística).

Con los datos obtenidos en el proceso de recolección de la información se realizaron los Análisis de la Varianza (ANOVA), mediante el cual se probaron las hipótesis referidas a los parámetros de posición (esperanza) de dos o más distribuciones. La hipótesis que se someten a prueba, generalmente se establecen con respecto a las medias de las poblaciones en estudio o de cada uno de los tratamientos evaluados en un experimento, (Reyes Aguilera 2019).

Antes de realizar el ANOVA, se hizo el diagnóstico de la normalidad, homogeneidad e independencia de residuos. Para tal efecto, se obtuvieron previamente las variables RDUO de las variables y PRED. A partir de los residuos y sus transformaciones se verificó el cumplimiento de los supuestos de normalidad, diagnóstico de la normalidad, homogeneidad e independencia de residuos y homogeneidad de varianzas, (Reyes Aguilera 2019).

Capítulo IV

4.1. Resultados y discusión

4.1.1. Propiedades fisicoquímicas de los desechos cárnicos que permiten la generación de biogás.

Con los datos obtenidos en el proceso de recolección de la información se realizaron los Análisis de la Varianza (ANOVA), mediante el cual se probaron las hipótesis referidas a los parámetros de posición (esperanza) de dos o más distribuciones. La hipótesis que se someten a prueba, generalmente se establecen con respecto a las medias de las poblaciones en estudio o de cada uno de los tratamientos evaluados en un experimento.

Antes de realizar el ANOVA, se hizo el diagnóstico de la normalidad, homogeneidad e independencia de residuos. Para tal efecto, se obtuvieron previamente las variables RDUO de las variables y PRED. A partir de los residuos y sus transformaciones se verificó el cumplimiento de los supuestos de normalidad, diagnóstico de la normalidad, homogeneidad e independencia de residuos y homogeneidad de varianzas.

El ANOVA en DCA, permite determinar si existe o no, la relación causa-efecto de los tratamientos, (efecto de desechos cárnicos), sobre la variable % Masa Seca.

Tabla 7 Análisis de la varianza para la variable %Masa Seca

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
-------------	-----------	-----------	-----------	----------	----------------

Modelo	61.71	3	20.57	3.85	0.0384
Tratamientos	61.71	3	20.57	3.85	0.0384
Error	64.07	12	5.34		
Total	125.77	15			

El ANOVA realizado, para evaluar el efecto de los diferentes sustratos sobre el % de Masa Seca, demostró lo siguiente:

Existe un efecto significativo del tratamiento (desechos cárnicos), sobre la variable respuesta % de Masa Seca, lo cual se evidencia con un $p = 0.0384$, que resultó ser menor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_n$. Esto quiere decir que la respuesta estadística es significativa, lo cual demostró que existe una relación de causa-efecto de los tratamientos (desechos cárnicos), sobre la variable respuesta % de Masa Seca.

Posterior al ANOVA, se realizó la prueba de rangos múltiples o prueba LSD Fisher (Diferencia Mínima Significativa), con un Alfa = 0.05. Esta prueba permitió demostrar que, los desechos cárnicos, tienen diferencias estadísticas entre sí, con respecto a la variable dependiente % de Masa Seca, para la cual se obtuvo un valor promedio máximo de 19.33 para los desechos cárnicos A; con un valor mínimo de 14.46 para el desecho cárnico C.

Tabla 8 Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=3.55984

<u>Tratamientos</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>		
Desechos cárnicos A	19.33	4	1.16	A	
Desechos cárnicos B	18.64	4	1.16	A	
Desechos cárnicos D	16.05	4	1.16	A	B

Desechos cárnicos C	14.46	4	1.16	B
---------------------	-------	---	------	---

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

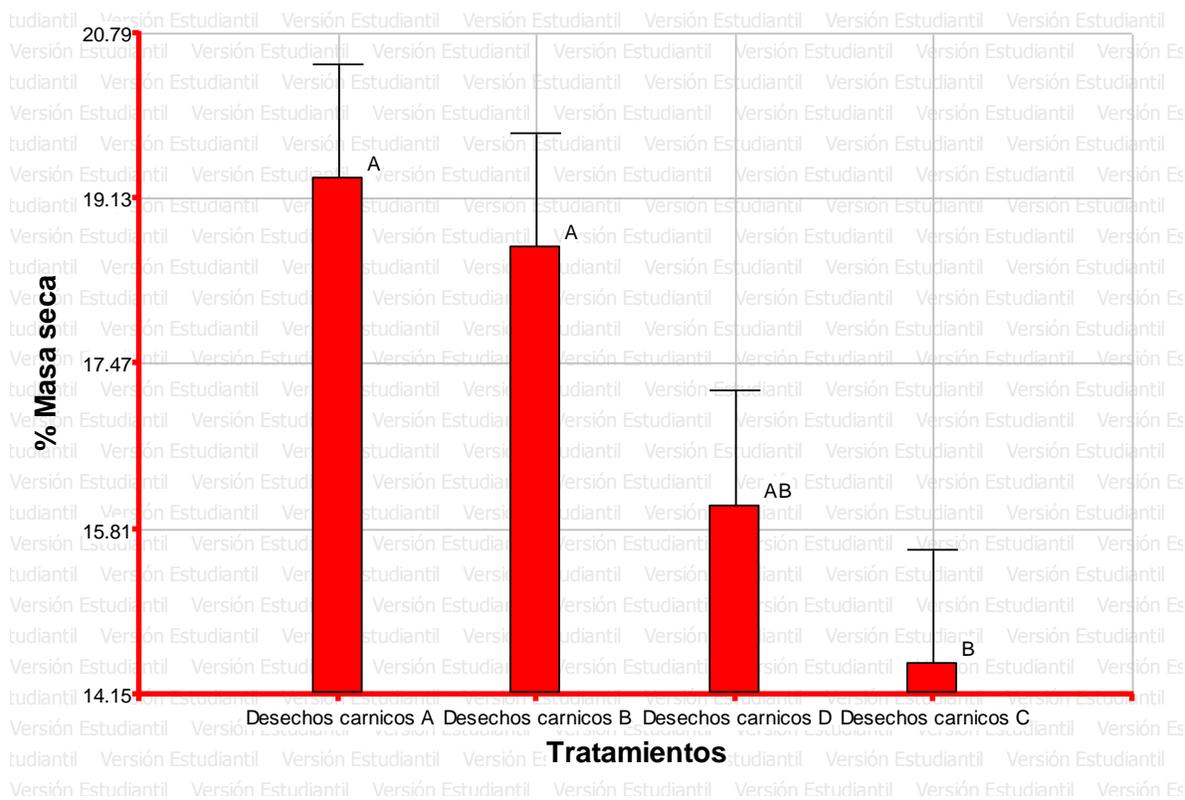


Figura 3 Masa seca de los sustratos

El ANOVA en DCA, permite determinar si existe o no, la relación de causa-efecto de los tratamientos, (efecto de diferentes desechos cárnicos), en relación a la variable % de cenizas. Se verificó el cumplimiento de los supuestos de normalidad, diagnóstico de la normalidad, homogeneidad e independencia de residuos y homogeneidad de varianzas.

Tabla 9 Análisis de la varianza para la variable % de cenizas

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
------	----	----	----	---	---------

Modelo	221.19	3	73.73	3.74	0.0417
Tratamientos	221.19	3	73.73	3.74	0.0417
Error	236.61	12	19.72		
Total	457.80	15			

El ANOVA realizado, para evaluar el efecto de los diferentes sustratos en relación al % de cenizas, demostró lo siguiente:

Existe un efecto significativo del tratamiento (desechos cárnicos), sobre la variable % de cenizas, lo que se evidencia con un $p = 0.0417$, que resultó ser menor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_n$. Esto quiere decir que la respuesta estadística es significativa, lo cual demostró que existe una relación de causa-efecto de los tratamientos (diferentes desechos cárnicos), sobre la variable % de cenizas.

Posterior al ANOVA, se realizó la prueba de rangos múltiples o prueba LSD Fisher (Diferencia Mínima Significativa), con un Alfa = 0.05, permitió demostrar que, los sustratos de desechos cárnicos, tienen diferencias estadísticas entre sí, con respecto a la variable dependiente % de cenizas, para la cual se obtuvo un valor promedio máximo de 86.61 para el desecho cárnico B, el desecho cárnico D con un valor mínimo de 78.10.

Tabla 10 Test LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=6.84123

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
Desechos cárnicos B	86.61	4	2.22	A

Desechos cárnicos C	85.31	4	2.22	A	B
Desechos cárnicos A	79.13	4	2.22		B C
<u>Desechos cárnicos D</u>	<u>78.10</u>	<u>4</u>	<u>2.22</u>		<u>C</u>

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

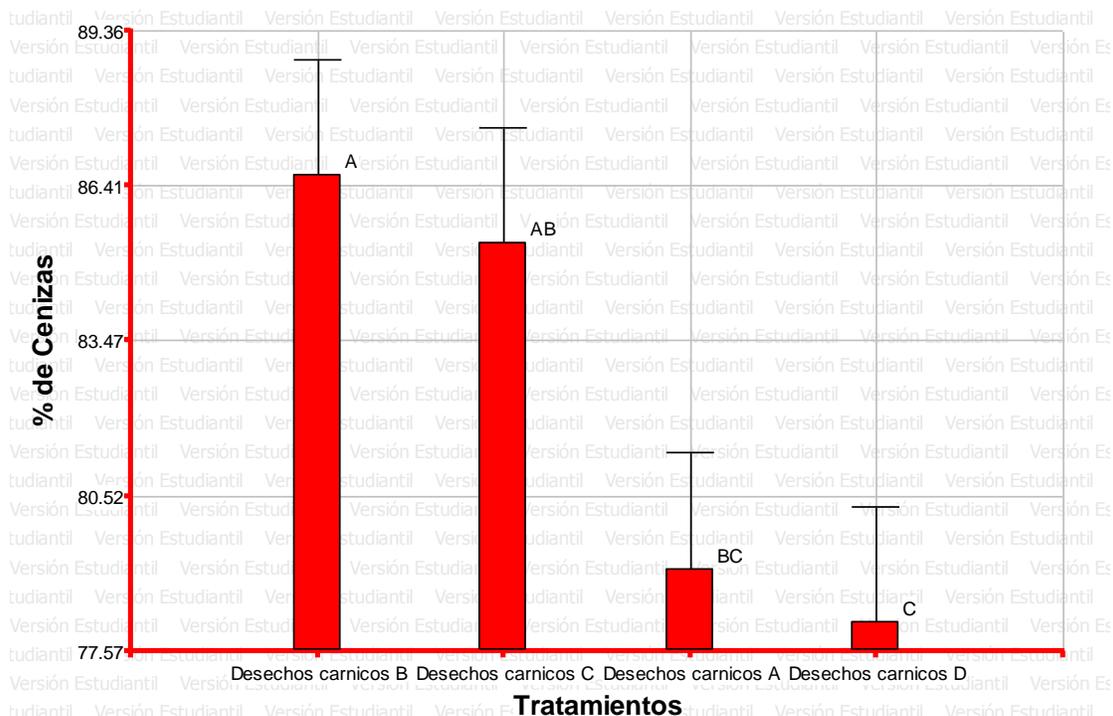


Figura 4 Cenizas de los desechos cárnicos.

El ANOVA en DCA, permite determinar si existe o no, la relación de causa-efecto de los tratamientos, (efecto de diferentes sustratos), en relación a la variable % de Sólidos Volátiles. Se verificó el cumplimiento de los supuestos de normalidad, diagnóstico de la normalidad, homogeneidad e independencia de residuos y homogeneidad de varianzas.

Tabla 11 Análisis de la varianza para la variable % Solidos Volátiles

<u>F.V.</u>	<u>SC</u>	<u>gl</u>	<u>CM</u>	<u>F</u>	<u>p-valor</u>
Modelo	95.55	3	31.85	3.51	0.0492
Tratamientos	95.55	3	31.85	3.51	0.0492
Error	108.79	12	9.07		
<u>Total</u>	<u>204.34</u>	<u>15</u>			

El ANOVA realizado, para evaluar el efecto de los desechos cárnicos en relación al % de Sólidos Volátiles, demostró lo siguiente:

Existe un efecto significativo del tratamiento (diferentes desechos cárnicos), sobre la variable respuesta % de Sólidos Volátiles, lo que se evidencia con un $p = 0.0492$, que resultó ser menor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_n$. Esto quiere decir que la respuesta estadística es significativa, lo cual demostró que existe una relación de causa efecto de los tratamientos (diferentes desechos cárnicos), en relación a la variable % de Sólidos volátiles.

Posterior al ANOVA, se realizó la prueba de rangos múltiples o prueba LSD Fisher (Diferencia Mínima Significativa), con un Alfa = 0.05, permitió demostrar que, los desechos cárnicos, tienen diferencias estadísticas entre sí, con respecto a la variable dependiente % de Sólidos Volátiles, para la cual se obtuvo un valor promedio máximo de 20.51 para el desecho cárnico A y valor mínimo de 14.39 para el desecho cárnico B.

Tabla 12 Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=4.63893

<u>Tratamientos</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>
---------------------	---------------	----------	-------------

Desechos cárnicos A	20.51	4	1.51	A
Desechos cárnicos D	17.77	4	1.51	A B
Desechos cárnicos C	14.94	4	1.51	B
Desechos cárnicos B	14.39	4	1.51	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

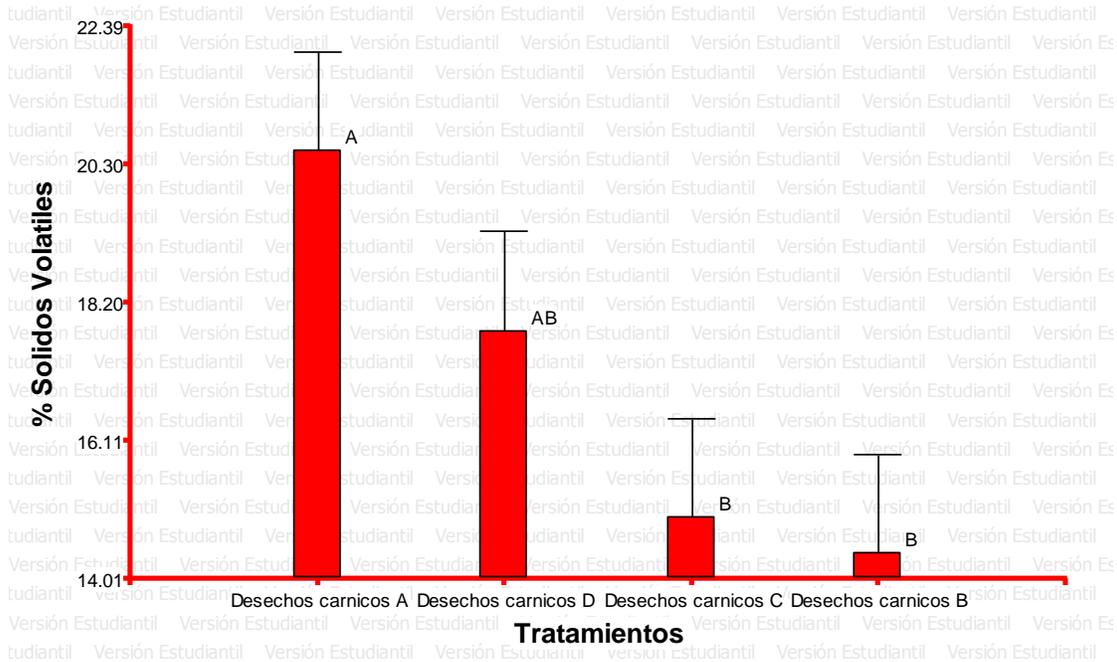


Figura 5 Sólidos Volátiles de los sustratos cárnicos.

El ANOVA en DCA, permite determinar si existe o no, la relación de causa-efecto de los tratamientos, (efecto de diferentes desechos cárnicos), sobre la variable % de masa húmeda. Se verificó el cumplimiento de los supuestos de normalidad, diagnóstico de la normalidad, homogeneidad e independencia de residuos y homogeneidad de varianzas.

Tabla 13 Análisis de la varianza para la variable % masa de humedad

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	65.35	3	21.78	7.73	0.0039

Tratamientos	65.35	3	21.78	7.73	0.0039
Error	33.83	12	2.82		
Total	99.18	15			

El ANOVA realizado, para evaluar el efecto de los diferentes desechos cárnicos sobre el % de masa húmeda, demostró lo siguiente:

Existe un efecto significativo del tratamiento (diferentes desechos cárnicos), sobre la variable % masa húmeda, lo que se evidencia con un $p = 0,0039$ que resultó ser menor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_n$. Esto quiere decir que la respuesta estadística es significativa, lo cual demostró que existe una relación de causa-efecto de los tratamientos (diferentes desechos cárnicos), referente a la variable % de masa húmeda.

Posterior al ANOVA, se realizó la prueba de rangos múltiples o prueba LSD Fisher (Diferencia Mínima Significativa), con un Alfa = 0.05, esta permitió demostrar que, los desechos cárnicos, tienen diferencias estadísticas entre sí, con respecto a la variable dependiente % de masa húmeda, para la cual se obtuvo un valor promedio máximo de 86.04 para el desecho cárnico C; con un valor mínimo de 80.86 para el desecho cárnico A. Por lo tanto, se recomienda usar el desecho cárnico C, por contener mayor humedad.

Tabla 14 Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=2.58683

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
Desechos cárnicos C	86.04	4	0.84	A	
Desechos cárnicos D	84.58	4	0.84	A	B
Desechos cárnicos B	82.17	4	0.84	B	C

Desechos cárnicos A 80.86 4 0.84 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

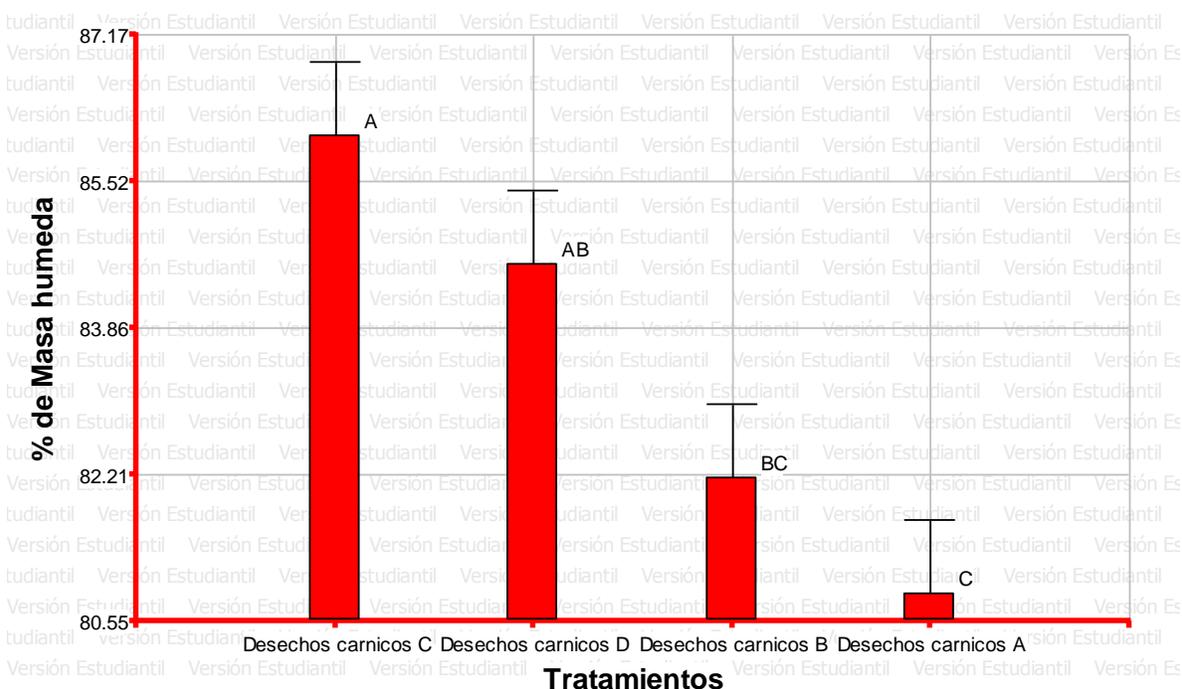


Figura 6 Masa húmeda de los sustratos cárnicos.

El ANOVA en DCA, permite determinar si existe o no, la relación de causa-efecto de los tratamientos, (efecto de diferentes desechos cárnicos), sobre la variable % de carbono. Se verificó el cumplimiento de los supuestos de normalidad, diagnóstico de la normalidad, homogeneidad e independencia de residuos y homogeneidad de varianzas.

Tabla 15 Análisis de la varianza para la variable % carbono

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	29.49	3	9.83	3.51	0.0492
Tratamientos	29.49	3	9.83	3.51	0.0492

Error 33.58 12 2.80

Total 63.07 15

El ANOVA realizado, para evaluar el efecto de los desechos cárnicos sobre el % de carbono demostró lo siguiente:

Existe un efecto significativo del tratamiento (de los desechos cárnicos), sobre la variable respuesta % carbono, lo cual se evidencia con un $p = 0,0492$, que resultó ser menor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_n$. Esto quiere decir que la respuesta estadística es significativa, lo cual demostró que existe una relación de causa-efecto de los tratamientos (desechos cárnicos), sobre la variable respuesta % carbono.

Posterior al ANOVA, se realizó la prueba de rangos múltiples o prueba LSD Fisher (Diferencia Mínima Significativa), con un Alfa = 0.05, los desechos cárnicos, tienen diferencias estadísticas entre sí, en relación a la variable dependiente % de carbono, para la cual se obtuvo un valor promedio máximo de 11.39 para el desecho cárnico A y un valor mínimo de 8.00 para el desecho cárnico B.

Tabla 16 Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=2.57729

<u>Tratamientos</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>		
Desechos cárnicos A	11.39	4	0.84	A	
Desechos cárnicos D	9.87	4	0.84	A	B
Desechos cárnicos C	8.30	4	0.84		B
<u>Desechos cárnicos B</u>	<u>8.00</u>	<u>4</u>	<u>0.84</u>		<u>B</u>

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

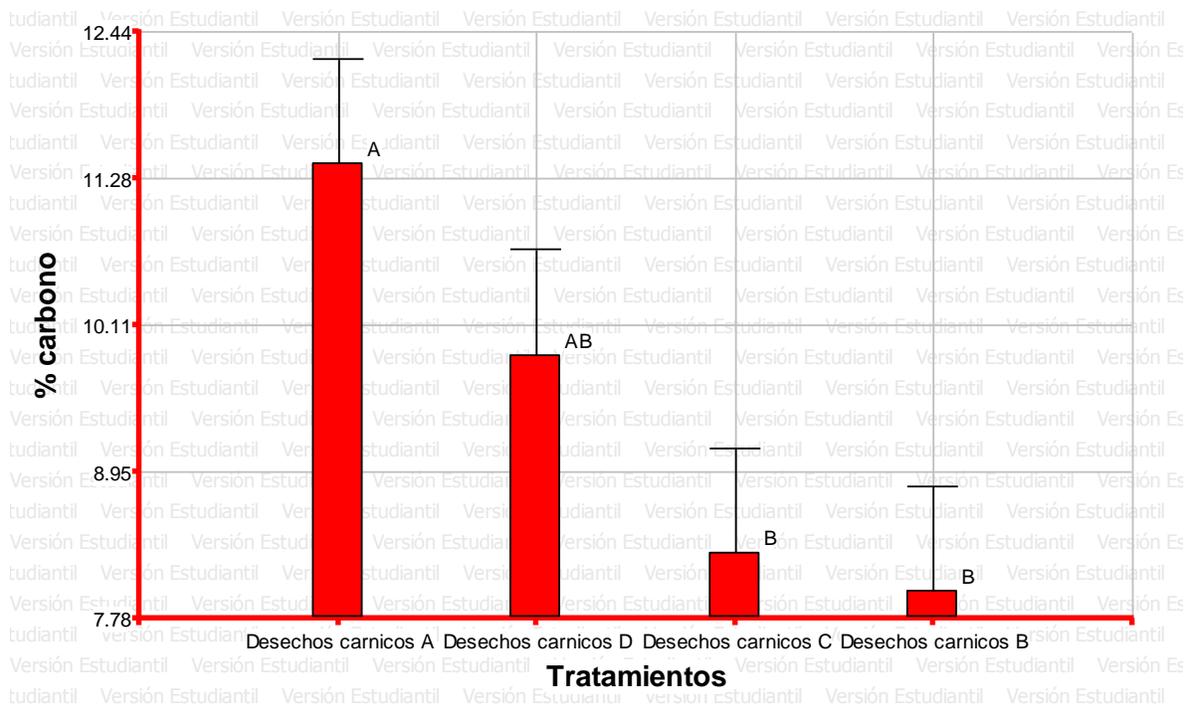


Figura 7 Carbono de los sustratos cárnicos

El ANOVA en DCA, permite determinar si existe o no, la relación causa-efecto de los tratamientos (efecto de los desechos cárnicos), en relación a la variable % de nitrógeno. Se verificó el cumplimiento de los supuestos de normalidad, diagnóstico de la normalidad, homogeneidad e independencia de residuos y homogeneidad de varianzas.

Tabla 17 Análisis de la varianza para la variable % de nitrógeno

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.24	3	0.08	3.60	0.0460
Tratamientos	0.24	3	0.08	3.60	0.0460

Error	0.27	12	0.02
<u>Total</u>	<u>0.51</u>	<u>15</u>	

El ANOVA realizado, para evaluar el efecto de los desechos cárnicos sobre el % de nitrógeno demostró lo siguiente:

Existe un efecto significativo del tratamiento (desechos cárnicos), sobre la variable respuesta % de nitrógeno, lo cual se evidencia con un $p = 0,0460$, que resultó ser mayor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_n$. Esto quiere decir que la respuesta estadística es significativa, demostrándose que existe una relación de causa-efecto de los tratamientos sobre la variable respuesta % de nitrógeno.

Posterior al ANOVA, se realizó la prueba de rangos múltiples o prueba LSD Fisher (Diferencia Mínima Significativa), con un Alfa = 0.05, esta permitió demostrar que, los desechos cárnicos, tienen diferencias estadísticas entre sí, con respecto a la variable dependiente % de nitrógeno, para la cual se obtuvo un valor promedio máximo de 1.03 para el desecho cárnico A y un valor mínimo de 0.72 para el desecho cárnico B.

Tabla 18 Test: LSD Fisher Alfa= 0.05 DMS= 0.23048

<u>Tratamientos</u>	<u>Medias</u>	<u>n</u>	<u>E.E.</u>		
Desechos cárnicos A	1.03	4	0.07	A	
Desechos cárnicos D	0.89	4	0.07	A	B
Desechos cárnicos C	0.75	4	0.07		B
Desechos cárnicos B	0.72	4	0.07		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

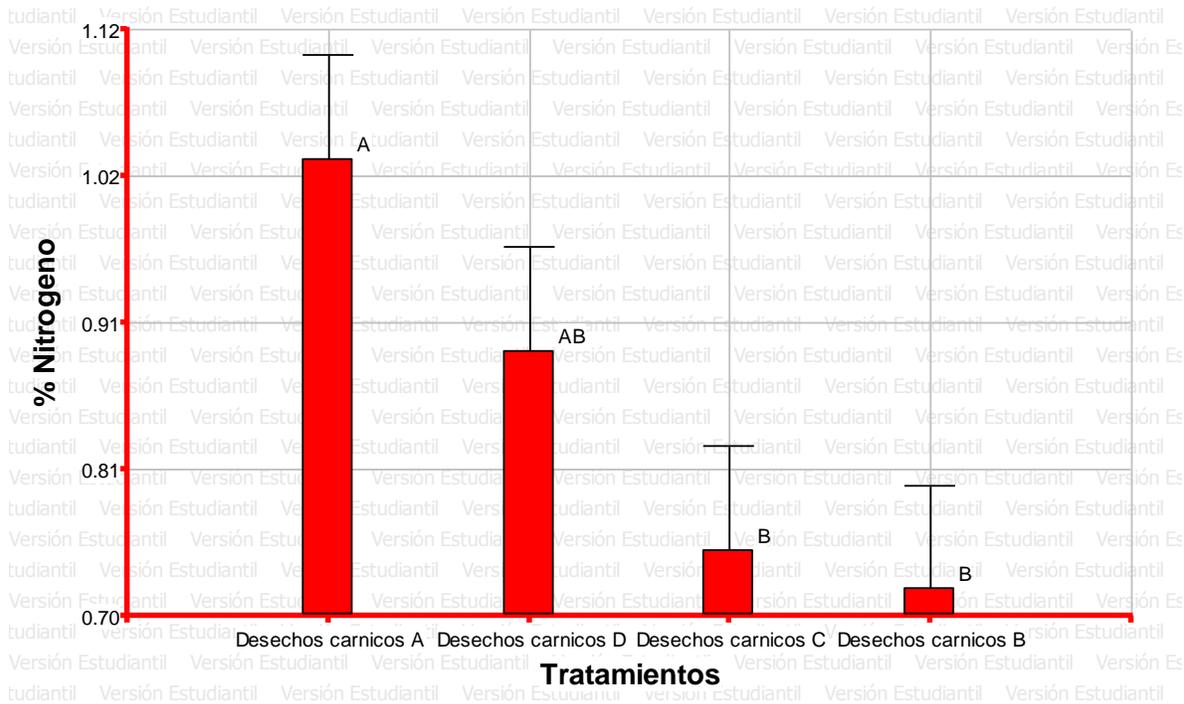


Figura 8 Nitrógeno de los sustratos cárnicos.

El ANOVA en DCA, permite determinar si existe o no, la relación de causa-efecto de los tratamientos, en relación a la variable relación carbono/nitrógeno. Se verificó el cumplimiento de los supuestos de normalidad, diagnóstico de la normalidad, homogeneidad e independencia de residuos y homogeneidad de varianzas.

Tabla 19 Análisis de la varianza para la variable relación C/N

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	29.51	3	9.84	3.51	0.0492
Tratamientos	29.51	3	9.84	3.51	0.0492
Error	33.61	12	2.80		

Total 63.11 15

El ANOVA realizado, para evaluar el efecto de los desechos cárnicos referente a la relación carbono/ nitrógeno demostró lo siguiente:

Existe un efecto significativo del tratamiento (desechos cárnicos), sobre la variable respuesta relación carbono/ nitrógeno, lo que se evidencia con un $p = 0.0492$, que resultó ser mayor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_n$. Esto quiere decir que la respuesta estadística es significativa, lo cual demostró que existe una relación de causa-efecto de los tratamientos (desechos cárnicos), respecto a la variable relación carbono/nitrógeno.

Posterior al ANOVA, se realizó la prueba de rangos múltiples o prueba LSD Fisher (Diferencia Mínima Significativa), con un Alfa = 0.05, esta prueba permitió demostrar que, los desechos cárnicos tienen diferencias significativas entre sí, con respecto a la variable dependiente relación C/N, para la cual se obtuvo un valor promedio máximo de 11.39 para el desecho cárnico A y un valor mínimo de 8.00 para el desecho cárnico B.

Tabla 20 Test: LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=2.57825

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
Desechos cárnicos A	11.39	4	0.84	A	
Desechos cárnicos D	9.87	4	0.84	A	B
Desechos cárnicos C	8.30	4	0.84		B
Desechos cárnicos B	8.00	4	0.84		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

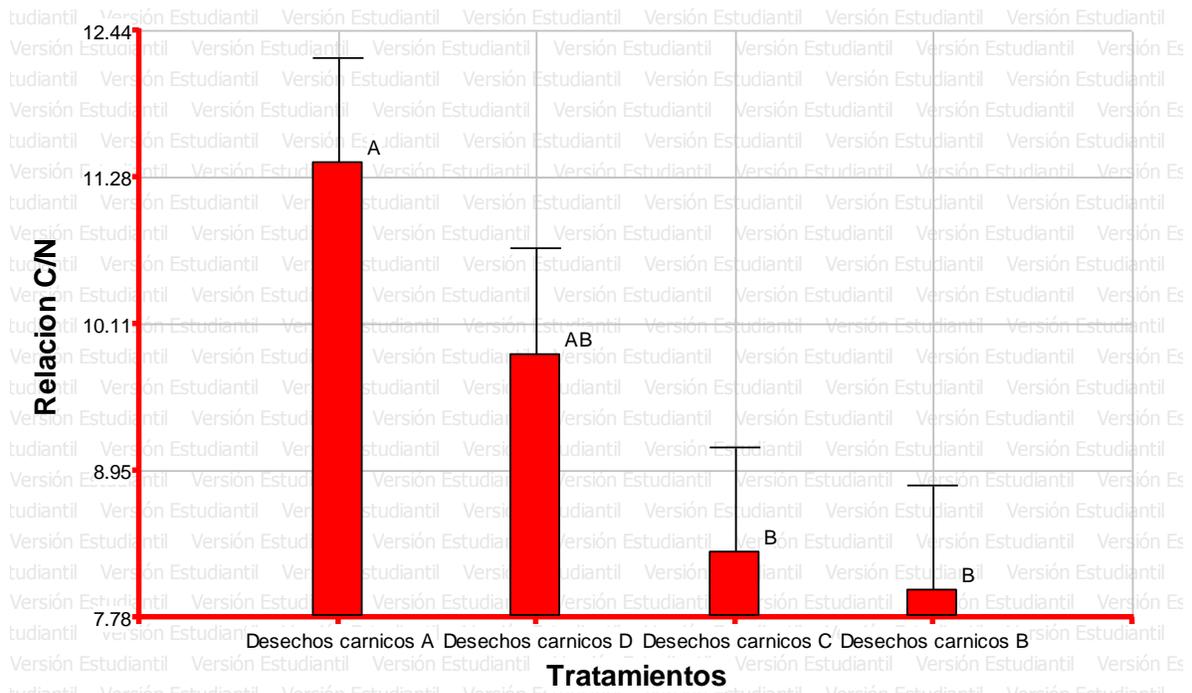


Figura 9 Relación C/N de los sustratos cárnicos.

4.1.2. Correlación entre los parámetros naturales y de funcionamiento del proceso de biodegradación anaeróbica en biodigestores tipo Batch.

El ANACORR, consiste en determinar el grado de asociación entre dos variables cuantitativas continuas, o calificar tal relación, lo cual se mide por el coeficiente de correlación “r” de Pearson y se realiza bajo la hipótesis nula de $H_0: \rho = 0$, (Casanoves 2007).

La interpretación del coeficiente de correlación “r” de Pearson, éste toma valores entre -1 y +1. Valores próximos a -1, indican una fuerte a perfecta asociación negativa, valores cercanos a -0.5, indican una asociación moderada negativa y valores próximos a 0 indican una débil asociación entre las variables. Por otra parte, valores próximos a 1, muestran una fuerte a perfecta asociación positiva, valores cercanos a 0.5 revelan una asociación moderada positiva, (R. Rodriguez 2012).

A continuación se presenta el procedimiento ANACORR realizado para determinar la correlación entre las variables de temperatura y producción de biogás para saber si estas están correlacionadas se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 21 Correlación de Pearson producción de biogás y temperatura

<u>Variable (1)</u>	<u>Variable (2)</u>	<u>n</u>	<u>Pearson</u>	<u>p-valor</u>
Produccion de biogás	Temperatura	16	-0.55	0.0269
Temperatura	Produccion de biogás	16	-0.55	0.0269
Temperatura	Temperatura	16	1.00	<0.0001

El análisis de correlación de Pearson realizado para las variables temperatura y producción de biogás, dio como resultado un coeficiente de correlación “r” igual a -0.55. Este fuerte valor del “r” fue obtenido con un $p = 0,0269$, el cual resulta ser menor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de $H_0: \rho = 0$, esto quiere decir que la respuesta estadística obtenida es una correlación significativa, por lo que se demostró que existe correlación entre las variables temperatura y producción de biogás. De ahí que, se confirma la hipótesis de que la producción de biogás, está asociado con la temperatura alcanzada en los biodigestores.

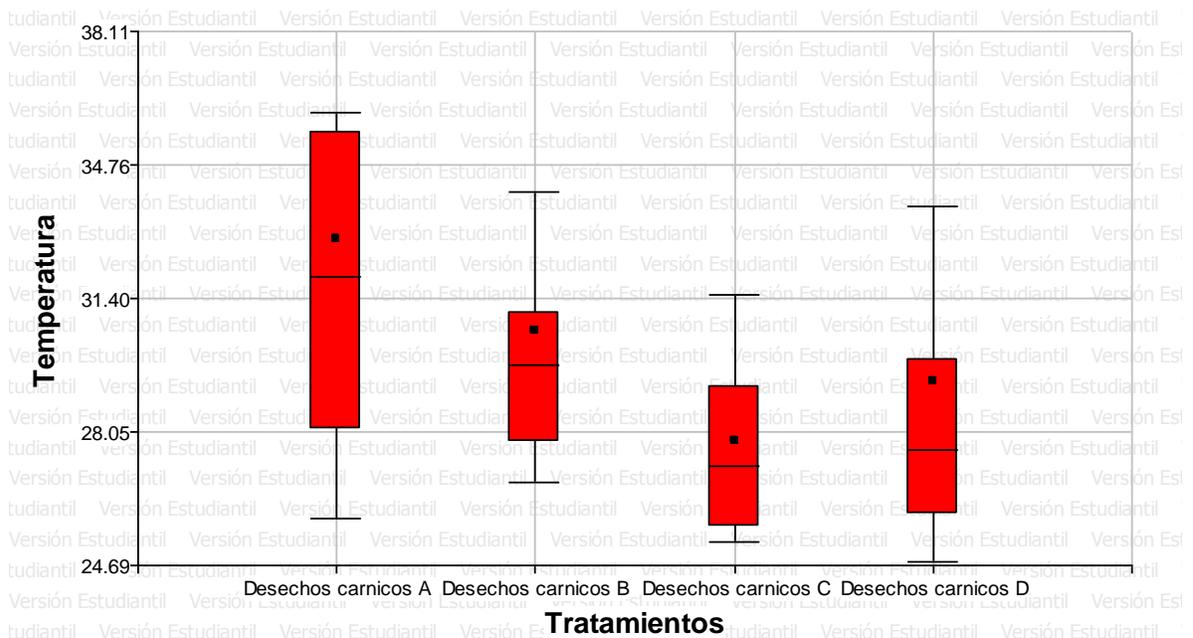


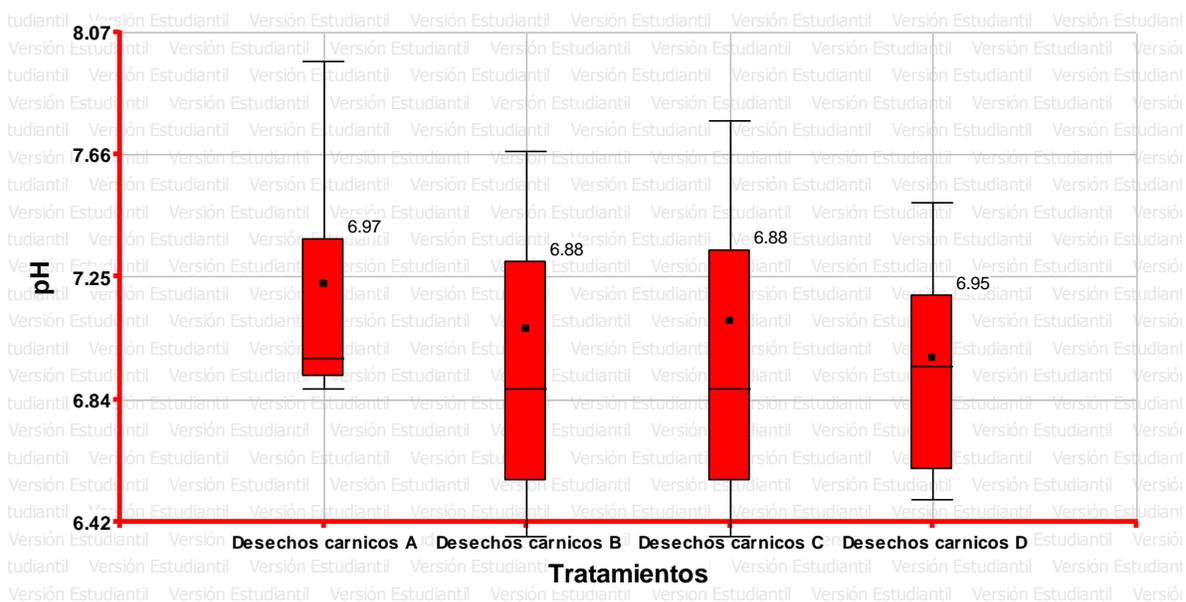
Figura 10 Temperatura de los biodigestores

Referente a la segunda correlación realizada entre las variables, temperatura y producción de biogás para saber si estas están correlacionadas se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 22. Correlación de Pearson producción de biogás y Ph

Variable (1)	Variable (2)	n	Pearson	p-valor
pH	Produccion de biogás	16	0.72	0.0017
Produccion de biogás	pH	16	0.72	0.0017
Produccion de biogás	Produccion de biogás	16	1.00	<0.0001

El análisis de correlación de Pearson realizado para las variables temperatura y producción de biogás, dio como resultado un coeficiente de correlación “r” igual a 0,72, el cual es un valor próximo a 1, indicando que se tiene una fuerte asociación entre las variables. Este fuerte valor del “r” fue obtenido con un $p = 0,0017$, el cual resulta ser menor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, no se acepta la hipótesis nula de $H_0: \rho = 0$, esto quiere decir que la respuesta estadística obtenida es una correlación significativa, por lo que se demostró que existe correlación entre las variables pH y producción de biogás. De ahí que, se confirma la hipótesis de que la



producción de biogás, está asociado con la temperatura alcanzada en los biodigestores.

Figura 11 pH de los biodigestores

Tabla 23 Correlación de Pearson producción de biogás y relación C/N

Variable (1)	Variable (2)	n	Pearson	p-valor
C/N	Producción de biogás	16	0.10	0.7181
Producción de biogás	C/N	16	0.10	0.7181
Produccion de biogás	Produccion de biogás	16	1.00	<0.0001

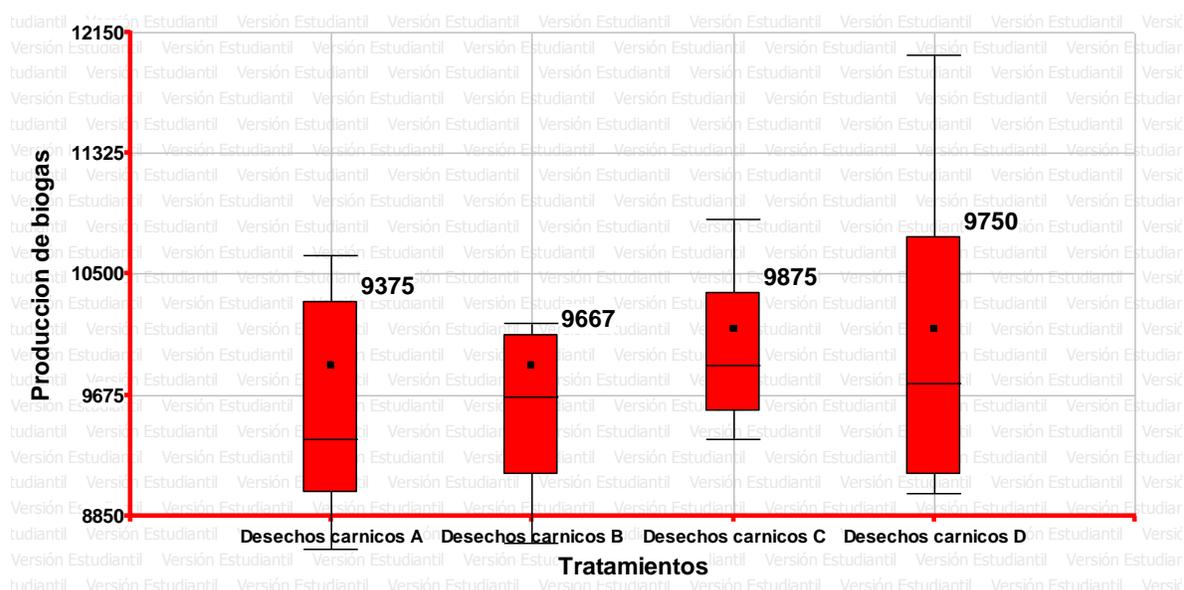
El análisis de correlación de Pearson realizado para las variables relación C/N (Carbono/Nitrógeno) y producción de biogás, dio como resultado un coeficiente de correlación “r” igual a 0,10, el cual es un valor próximo a 0, indicando que se tiene una débil asociación entre las variables. Este débil valor del “r” fue obtenido con un $p = 0,7181$, el cual resulta ser mayor que el nivel crítico de comparación $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula de $H_0: \rho = 0$. Esto quiere decir que la respuesta estadística obtenida es una correlación no significativa, por lo que no se demostró que exista correlación entre las variables relación C/N (Carbono/Nitrógeno) y producción de biogás. De ahí que, no se confirma la hipótesis de que la producción de biogás, está asociado con la relación C/N (Carbono/Nitrógeno) de cada desecho carnico estudiado.

4.1.3. Determinar la producción de biogás proveniente de diversas mezclas de residuos cárnicos generado en un biodigestor que se sometan a dicho proceso.

En la figura 11, Se aprecian los valores referentes a la producción de biogás referente a la operación de los reactores tipo batch, donde se observa la máxima cantidad producida en ml de cada desecho cárnico.

Los valores se obtuvieron el día 25 después de la carga, mediante la técnica volumétrica que se basa en el desplazamiento de líquido mencionado en la metodología, obteniendo el volumen total de producción de cada desecho cárnico correspondiente a los días de medición.

El sustrato que presenta mayor volumen de biogás generado, corresponde al desecho cárnico D con 10125 ml, equivalente a 10.125 litros de biogás y en menor



volumen al Desecho cárnico A con 9875 ml, equivalente a 9.875 litros de biogás, siendo el desecho Cárnico D con mayor producción de biogás.

Figura 12 Producción de biogás.

4.1.4. Discusión de resultados

Resumen de resultados obtenidos

1. En cuanto a la identificación de los desechos se encontró que el desecho cárnico A, posee los mejores vectores de medias físicoquímicas que el resto de sustrato que formaron parte del estudio.
2. Existe correlación significativa entre la temperatura y la producción de biogás generada en los biodigestores.
3. Existe correlación significativa entre el pH y la producción de biogás generada en los biodigestores.
4. Se comprueba que, la digestión anaerobia produce más biogás en las mezclas de desechos cárnicos con otro sustrato, a diferencia de los que no se mezclaron con otro tipo.

Relación de los resultados obtenidos con conclusiones de otras investigaciones

El porcentaje de sólidos totales que debe contener la mezcla con la cual se cargará un biodigestor, es un importante factor a considerar o puede verse limitada a medida que aumenta el contenido de sólidos, por lo tanto puede afectar la eficiencia y la producción de biogás. Los resultados de esta investigación. El porcentaje de materia seca o sólidos totales para el desecho cárnico A fue de 19.33 y 14.46 para el

desecho cárnico C, Los desechos cárnicos A y C ligeramente por encima del rango establecido por, (Rueda, Mojica y Acosta 2016).

Las cenizas, son compuestos minerales residuales que no son volatilizados. Los resultados en esta investigación demostraron que en el desecho cárnico A se obtuvo, 86.61%, es el mayor vector de medias de los desechos analizados, los resultados se encuentran ligeramente por encima de lo reportado por (Falla Cabrera 2005); este tuvo 80% en el mayor vector de medias.

Los sólidos volátiles corresponden a la porción de sólidos totales que se libera de una muestra, volatilizándose cuando se calienta durante dos horas a 600°C. Estos sólidos contienen componentes orgánicos, los que en teoría se convertirán en metano El desecho cárnico A presentó el valor más alto con 20.51% y el que menos sólidos volátiles presentó fue el Desecho cárnico B con 14.39 %, estos valores no coinciden con lo reportado por (Rueda, Mojica y Acosta 2016).

En general, la relación C/N no es un problema. Si es cierto, que cuando hay mucha presencia de nitrógeno en un sustrato el consorcio bacteriano puede inhibirse y dejar de trabajar apropiadamente, pero no es el caso de los estiércoles de animales de granja.

La relación C/N permite conocer la capacidad mineralizadora del residuo sólido en procesos de recuperación y aprovechamiento de la materia orgánica. El desecho cárnico A, fue el que tuvo un valor más alto de 11.39, este valor se encuentra ligeramente bajo de lo reportado por, (Varnero 2011).

El proceso anaeróbico es fuerte dependiente de la temperatura, a medida que aumenta la temperatura aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión, dando lugar a mayores producciones de biogás.

La temperatura máxima obtenida en los biodigestores fue de 32.90 C y la temperatura mínima de 27.80, encontrándose dentro del rango mesofílico, establecido por. Los biodigestores estaban ubicados al aire libre por lo cual la temperatura de operación no fue controlada. El análisis estadístico realizado a través de la correlación de Pearson demostró que existe relación entre la temperatura y la producción de biogás, esto se debe principalmente a que la temperatura influye para producir más o menos biogás.

El pH es un indicador de la acidez de una materia orgánica. El consorcio bacteriano que desarrolla la digestión anaerobia suele gustar de estar en ambientes con pH entre 6.5-7.5 (7 es el valor neutro de pH). Dentro del consorcio bacteriano, las bacterias que realizan la etapa de acidogénesis y acetogénesis trabajan mejor en pH 5.5 y 6.5, mientras que las metanogénicas lo hacen en un rango 7.8 a 8.2, (Marti Herrero 2019).

En los biodigestores que formaron parte de la unidad de análisis experimental de la presente investigación, una vez estabilizado el proceso fermentativo el pH se mantuvo en valores que oscilaron entre 7.23 y 6.95. Esto permitió no correr el riesgo de que el proceso de fermentación se inhibiera y pudiera detenerse, similar a lo reportado por (Reyes Aguilera 2019).

El análisis de correlación de Pearson realizado para los variables pH y producción de biogás, dio como resultado un coeficiente de correlación moderada positiva. Este moderado valor del “r” fue obtenido con un $p = 0,0017$, quiere decir que la respuesta

estadística obtenida es una correlación significativa, por lo que se demostró que existe correlación entre las variables pH y producción de biogás. De ahí que, se confirma la hipótesis de que el pH cuando se encuentra en los niveles óptimos está asociado con la producción de biogás.

En el proceso de digestión anaerobia el mayor valor de producción de biogás lo tuvo el desecho Cárnico D con 10125 ml equivalente a 10.125 lts de biogás y en el valor más bajo obtuvo 9875 ml equivalente a 9.875 lts de biogás con el desecho cárnico A, esto demostró que en el proceso de biodigestión produce mayor cantidad de biogás en las mezclas de desechos cárnicos con otro sustrato, a diferencia de los que no se mezclaron con otro tipo, tal y como lo señala (Reyes Aguilera 2019).

Capítulo V

5.1. Conclusiones

1. Con respecto a las propiedades fisicoquímicas de los desechos cárnicos A, B, C y D, en este caso el desecho cárnico A obtuvo valores significativos difiriendo del resto de los desechos cárnicos y presentó el mejor vector de medias. La identificación de la masa seca, sólidos volátiles, cenizas, carbono, nitrógeno, humedad y relación carbono/ nitrógeno, muestra que estuvieron dentro de los rangos óptimos y satisfacen las necesidades de crecimiento y producción de metano de las bacterias anaerobias.
2. La producción de biogás está correlacionada con el pH; de este depende que se obtenga metano dentro de los biodigestores, siempre que estos no se desestabilicen y se mantengan dentro del rango óptimo. De igual manera la temperatura en cuanto a la producción de biogás se encuentra correlacionado significativamente y de esta depende producción de biogás.
3. El biodigestor con el desecho cárnico D cargado con la mezcla de desechos cárnicos + excreta de cerdo obtuvo el mayor rendimiento en cuanto a la producción de biogás. Se concluye que en el proceso de digestión anaerobia se obtienen mejores rendimientos si se cargan los biodigestores con dos o más sustratos.

5.2. Recomendaciones

1. Desarrollar esta investigación a condiciones reales de campo de tal manera que se implemente este tipo de tecnología de energías renovables para el aprovechamiento de los desechos ya evaluados para la producción de biogás en lugares como los mataderos, donde se encuentra este sustrato en abundancia.
2. A los propietarios de mataderos se recomienda el aprovechamiento de los residuos para la producción de biogás útil en sus empresas procesadoras.

5.1. Bibliografía

- Academia Renovables. «Santa Fe.» *Santa Fe*. 17 de 06 de 2019. <https://www.santafe.gob.ar/ms/academia/wp-content/uploads/sites/27/2019/08/M%C3%B3dulo-2-Biodigesti%C3%B3n-anaer%C3%B3bica.pdf> (último acceso: 17 de 06 de 2019).
- Aliaga Orellana , Lizeth Limbania . «Evaluación de producción de biogás utilizando desechos porcícolas de Zamorano.» *Evaluación de producción de biogás utilizando desechos porcícolas de Zamorano, Zamorano, Honduras*. Diciembre de 2006. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5651/1/IAD-2006-T002.pdf> (último acceso: 02 de Noviembre de 2021).
- Alvarado, Eva Luz , Francisca H Canales, y Elia Beatriz Pineda. «Metodología de la investigación.» En *Manual para el desarrollo de personal de salud, segunda edición*. Washington: Organización Panamericana de la Salud, 1994.
- Andino Bermúdez, Roger Israel , y Kevin Alexi Martínez Arcia. «Biodigestor: Una Alternativa de Innovación Socio – Económica Amigable con el Medio Ambiente. .» *Biodigestor: Una Alternativa de Innovación Socio – Económica Amigable con el Medio Ambiente*. . Abril de 2015. <https://repositorio.unan.edu.ni/3895/1/8007.pdf> (último acceso: 20 de Septiembre de 2021).
- Arévalo Toledo, Hugo Gonzalo, y Jaime Danilo Carrión Puglla. «Valoración nutricional de la gallinaza para alimentación animal y procesos industriales (Master's thesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Maestría en Nutrición y Producción Animal.» *Valoración nutricional de la gallinaza para alimentación animal y procesos industriales (Master's thesis, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Maestría en Nutrición y Producción Animal*. 2018. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/14805> (último acceso: 2018).
- Averruz Siles, Noelia del Carmen , y René Antonio Cruz Aguirre. «Evaluación de la producción de biogás y porcentaje de descontaminación de dos Biodigestores tubulares plásticos alimentados con estiércol porcino y bovino en la Hacienda Santa Rosa UNA – Managua.» *Evaluación de la producción de biogás y porcentaje de descontaminación de dos Biodigestores tubulares plásticos alimentados con estiércol porcino y bovino en la Hacienda Santa Rosa UNA – Managua*. Junio de 2015. <https://repositorio.una.edu.ni/3212/1/tnp06a953.pdf> (último acceso: 24 de septiembre de 2021).
- Ávila Velasquez, Celia,. «“USO DE BIODIGESTORES EN LA INDUSTRIA PECUARIA”.» *“USO DE BIODIGESTORES EN LA INDUSTRIA PECUARIA, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE*

MÉXICO. Septiembre de 2016.
<http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/66337/TESINA-CAV-1016.pdf?sequence=1> (último acceso: 20 de Septiembre de 2021).

BIOGAS FUEL CELL, SA,. «CORDIS, resultados de investigaciones de la UE, Biogás a partir de desechos de matadero.» *CORDIS, resultados de investigaciones de la UE, Biogás a partir de desechos de matadero*. 31 de Mayo de 2016. <https://cordis.europa.eu/article/id/182824-biogas-from-slaughterhouse-waste/es> (último acceso: 17 de Septiembre de 2021).

Calero Sarantes, Edwin de Jesus, Clementina Davila Cruz, y Agda Lidia Zelaya Siles. «Caracterización físico-química de las aguas residuales del matadero CARNIC-Managua.» *Caracterización físico-química de las aguas residuales del matadero CARNIC-Managua*. Marzo de 1992. <https://repositorio.unan.edu.ni/5848/1/503.PDF> (último acceso: 10 de Septiembre de 2021).

Carmona C, Juan, Diana M Bolívar, y Luis A Giraldo. *El gas metano en la producción ganadera y alternativas para medir sus emisiones y aminorar su impacto a nivel ambiental y productivo. Revista colombiana de ciencias pecuarias*. 08 de febrero de 2005. <http://www.scielo.org.co/pdf/rccp/v18n1/v18n1a06.pdf> (último acceso: 03 de Agosto de 2021).

CARRASCO ALLENDES, JUAN LUIS . «FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS, DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOTECNOLOGÍA.» *FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS, DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA Y BIOTECNOLOGÍA*. Marzo de 2015. <https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/133520/Evaluacion-tecnica-y-economica-de-una-planta-de-biogas.pdf?sequence=1> (último acceso: 01 de Noviembre de 2021).

Casanovas, Guido, Francisco Della Vecchia, Fernando Reymundo, y Roberto Serafini. «Práctica sobre el biogas.» En *Práctica sobre el biogas*, de FAO. Argentina: Creative Commons, 2019.

Casanoves, Fernando. «Técnicas de Análisis Multivariado.» *Curso Internacional, CATIE*, 2007.

Castelló L, Jose Antonio. *Selecciones Avícolas*. España, 2000.

Chaux, Guillermo, Gloria L Rojas, y Lina Bolaños. «SciELO, Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial.» *SciELO, Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. Junio de 2009. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612009000100012 (último acceso: 12 de Septiembre de 2021).

Chavez, Jorge. «Ficha Técnica Biodigestores Sitio Argentino de Producción Animal.» *Ficha Técnica Biodigestores Sitio Argentino de Producción Animal*. 09 de Abril de 2008. <https://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/03-biodigestores.pdf> (último acceso: 10 de Octubre de 2021).

Chicatto Gasperín, Vanesa , Rigoberto Castro Rivera, María Myrna Solís Oba, y Aída Solís Oba. «PRODUCCIÓN DE BIOGÁS MEDIANTE CODIGESTIÓN DE ESTIÉRCOL BOVINO Y RESIDUOS DE COSECHA DE TOMATE.» *PRODUCCIÓN DE BIOGÁS MEDIANTE CODIGESTIÓN DE ESTIÉRCOL*

- BOVINO Y RESIDUOS DE COSECHA DE TOMATE, Mexico. 01 de Septiembre de 2019. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992020000300529 (último acceso: 01 de Noviembre de 2021).
- CINSET. «Revista Avicultores,» En *En paz con la naturaleza. Diagnóstico de la corporación para la investigación socioeconómica y tecnológica de Colombia*, de CINSET, Vol 41, 24 -27. Colombia: Revista Avicultores, 1998.
- Coordinación Regional para la Sustentabilidad. «Las graves consecuencias ambientales del consumo de carne.» *Las graves consecuencias ambientales del consumo de carne*. 21 de Mayo de 2021. <https://www.uv.mx/coatza/coordsustcoatza/general/las-graves-consecuencias-ambientales-del-consumo-de-carne/> (último acceso: 14 de Octubre de 2021).
- Cruz Rosales, Magdalena . «Cronica.com, El estiércol, ¿material de desecho o de provecho?» *Cronica.com*. 22 de Julio de 2011. <https://www.cronica.com.mx/notas/2011/593631.html> (último acceso: 03 de Agosto de 2021).
- Cuadros Blazquez , Francisco , Fernando Lopez Rodriguez, Antonio Ruiz Celma , Fernando Rubiales Rubio , y Almudena Gonzalez Gonzalez . «PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS DE MATADERO Y SU USO COMBINADO CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA DE CONCENTRACIÓN. PROYECTO BIOGASOL. .» *PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS DE MATADERO Y SU USO COMBINADO CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA DE CONCENTRACIÓN. PROYECTO BIOGASOL. .* 10 de Julio de 2009. https://www.aepro.com/files/congresos/2009badajoz/ciip09_1123_1134.2546.pdf (último acceso: 24 de septiembre de 2021).
- Deublein, Dieter , y Angelika Steinhauer. «Wiley-VCH.» *Wiley-VCH*. 11 de 2008. https://books.google.com.ni/books?hl=es&lr=&id=CJiMmmxu2tcC&oi=fnd&pg=PT13&ots=lmjzdSbTnc&sig=v_Am38AxjXUCCC9MebyIHvkgY2A&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false (último acceso: 11 de 08).
- Diaz, Aitor. «Construcción de un biodigestor.» Tesis, Bolivia, 2013.
- DIRETIVA UE,. *Uso de energía procedente de recursos renovables*. EEUU, 2018.
- Discovskiy, Luis, y Henry Pedroza. «Sistema de análisis estadístico con SPSS.» En *Sistema de análisis estadístico con SPSS*, 167. Managua, Nicaragua, Estadística.
- Doroteo Otlica, Juan Carlos . «APROVECHAMIENTO DE BIOGAS PROVENIENTE DEL ABONO DE GANADO VACUNO, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura U. Z, Área Disciplinaria: Ambiental.» *APROVECHAMIENTO DE BIOGAS PROVENIENTE DEL ABONO DE GANADO VACUNO, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura U. Z, Área Disciplinaria: Ambiental*. 04 de Junio de 2012. <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/5606/1/Juan%20Carlos%20Doroteo%20Otlica.pdf>.
- Drózdź , Danuta , Katarzyna Wystalska , Krystyna malinska, Anna Grosser, Anna Grobelak, y Małgorzata Kacprzak. «Sciencedirect, Manejo del estiércol de aves de corral en Polonia:

- Kantarli, Ismail Cem , Suat Uçar, Arzu Kabadayi, y Jale Yanik. «Researchgate, Conversión de desechos avícolas en materias primas energéticas.» *Researchgate*. 01 de 07 de 2016. https://www.researchgate.net/publication/305452581_Conversion_of_poultry_wastes_into_energy_feedstocks (último acceso: 01 de 07 de 2016).
- Linnenberg, Carsten , Carolina Hernández Chanto, Rodolfo Amador, y Miguel Víquez Camacho. «ESTUDIO DE FACTIBILIDAD BIODIGESTOR ANAEROBICO TIPO INDUSTRIAL, Matadero el Arreo.» *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD BIODIGESTOR ANAEROBICO TIPO INDUSTRIAL, Matadero el Arreo.* OCTUBRE de 2012. [file:///C:/Users/pc/Downloads/CR%202.30%20Informe%20final-Arreo%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/pc/Downloads/CR%202.30%20Informe%20final-Arreo%20(3).pdf) (último acceso: 17 de SEPTIEMBRE de 2021).
- Lopez Rodriguez, y A Ruiz Celma. «PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS DE MATADERO.» *PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS DE MATADERO Y SU USO COMBINADO CON ENERGÍA SOLAR.* 10 de Julio de 2009. https://www.aepro.com/files/congresos/2009badajoz/ciip09_1123_1134.2546.pdf (último acceso: 12 de Septiembre de 2021).
- Malpica, Lina Paucar, y Maricela Elizabeth Quispe. *Ban, Biblioteca Agricola Nacional*. 2015. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2153>.
- Manufactureros, Servicios. «Panel I Biogas.» *Panel I Biogas*. 07 de 26 de 2010. <http://www.oas.org/dsd/Energy/Documents/SimposioG/3%20Panel%20I%20Biogas.pdf> (último acceso: 07 de 26 de 2010).
- Martí Herrero, Jaime. *Experiencias Latino Americanas en la implementación de estrategias para democratizar los biodigestores entre pequeños y medianos productores agropecuarios:Aportes a Ecuador. Climate Technology Centre and Network (CTCN)-UNFCCC*. 2019. https://www.ctcn.org/system/files/dossier/3b/del_1.2_biodigestores_latinoamerica.pdf (último acceso: 03 de Agosto de 2021).
- Marti Herrero, Jaime. «Biodigestores Tubulares.» *Guia de diseño y manual de instalacion, Ecuador*, 2019.
- Martinez C, Carlos . *Cuba solar, Revista Energía y Tú No.39, Titulo Volumen de Biodigestores*. Julio-septiembre de 2007. <http://www.cubasolar.cu/33-40-2/> (último acceso: 2021 de Agosto de 03).
- Migone, Nora. «El sitio Avicola, El valor nutricional del estiércol de gallina varía de acuerdo a su procedencia.» *El sitio Avicola, El valor nutricional del estiércol de gallina varía de acuerdo a su procedencia*. Octubre de 2010. <https://www.elsitioavicola.com/articles/1852/uso-de-gallinaza/> (último acceso: Octubre de 2010).
- Montalván, Angélica Auxiliadora , y Amílcar Josué Zelaya Rayo. «PRODUCCION DE BIOGAS A PARTIR DE LA PULPA DE CAFÉ CON PROTOTIPO DE GENERADOR ELECTRICO.» *PRODUCCION DE BIOGAS A PARTIR DE LA PULPA DE CAFÉ CON PROTOTIPO DE GENERADOR ELECTRICO*. Mayo

- de 2015. <https://ribuni.uni.edu.ni/1431/1/60204.pdf> (último acceso: 20 de Septiembre de 2021).
- Mullo, Ines. «Escuela Superior politecnica de chimborazo, manejo y procesamiento de la gallinaza.» *Escuela Superior politecnica de chimborazo, manejo y procesamiento de la gallinaza*. 26 de 03 de 2012. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2114/1/17T1106.pdf> (último acceso: 26 de 03 de 2012).
- Nuñez, Lenin. *Diseño e implementacion de prototipos de digestion anaerobia para residuos agricolas*. Peru, 2016.
- Oppenoorth , Harrie . «Biodigestores domésticos en África: el programa ABPP, Leisa.» *Biodigestores domésticos en África: el programa ABPP, Leisa revista de agroecología*. Septiembre de 2015. <https://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-30-numero-1/1029-biodigestores-domesticos-en-africa-el-programa-abpp> (último acceso: 20 de Septiembre de 2021).
- Pedroza Pacheco , Henry. «Fundamentos de experimentacion agricola, Nicaragua, Editorial de arte S.A.» *Fundamentos de experimentacion agricola, Nicaragua, Editorial de arte S.A.* Junio de 1993. <https://cenida.una.edu.ni/textos/NC10P372.pdf> (último acceso: 01 de Noviembre de 2021).
- Pedroza, Manuel Enrique. «El Modelo de gestión de la investigación.» En *INVESTIGACION CIENTIFICA*, 90. Managua: UNAN Managua, 2014.
- Pelaez, Carlos. «Gallinaza.» En *Materia prima en proceso de compostacion*, de Carlos Pelaez, 18-32. Colombia: Revista Avicultores, 1999.
- Pérez B, Sheila Genoveva, María Esther Bautista V, Adán Hernandez Sanchez, y Jonathan Uriel Enriquez Padilla. *Evaluación del potencial de generación de estiércol como materia prima para la producción de biogás, Revista de Sistemas Experimentales, Vol.4*. 23 de Marzo de 2017. https://www.ecorfan.org/bolivia/researchjournals/Sistemas_Experimentales/vol4num10/Revista_de_Sistemas_Experimentales_V4_N10_5.pdf (último acceso: 03 de Agosto de 2021).
- Piura Lopez, Julio. «Metodología de la investigación científica.» En *Metodología de la investigacion*. Nicaragua: Publicidad Arellano Vasquez, 2006.
- Plaster, Edward J. *La Ciencia del suelo y su manejo*. Madrid, España: Paraninfo.419 p, 2000.
- Prieto, Diana Maria, y Juan Manuel Fajardo. «BIODIGESTORES DE ESCALA A 50 LITROS, UNA SOLUCIÓN PARA LA PRODUCCION DE GAS, ABONO Y APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGANICOS.» *Requisito para optar al titulo de Tecnologo en*. 2015.
- Ramirez F, Ignacio, y Jhoniers Guerrero E. «MANEJO AMBIENTAL DE RESIDUOS EN MATADEROS DE PEQUEÑOS MUNICIPIOS.» *MANEJO AMBIENTAL DE RESIDUOS EN MATADEROS DE PEQUEÑOS MUNICIPIOS*. 26 de Diciembre de 2004.

- <https://www.redalyc.org/pdf/849/84911640034.pdf> (último acceso: 12 de Septiembre de 2021).
- Red de Agricultores. «Documen.site.» *Document.site.* Febrero de 2013. https://documen.site/download/tecnologia-que-transforma-un-costo-en-beneficio_pdf (último acceso: Febrero de 2013).
- Red Española de Compostaje. *De residuos a Recursos.* España: Mundi Prensa, 2015.
- RedBiolac,. *Red de biodigestores, RedBiolac para latinoamerica y el caribe.* 2020. <http://redbiolac.org/los-biodigestores/> (último acceso: 03 de Agosto de 2021).
- Residuos Profesional. *Residuos Profesional.* 11 de Diciembre de 2017. <https://www.residuosprofesional.com/residuos-carnicos-deyecciones-biogas/> (último acceso: 05 de Diciembre de 2021).
- Reyes Aguilera, Edwin Antonio. «Generación de biogas mediante el proceso de digestión anaeróbica, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos en la zona rural de Estelí en el periodo 2016-2018.» *Tesis doctoral, Estelí. Recuperado el 15 de Julio de 2020.* 2019. <https://repositorio.unan.edu.ni/12306/1/5892>. (último acceso: 2019).
- Reyes, Edwin Antonio. «Generación de biogás, mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos, en la zona rural de estelí, en el periodo 2016-2018.» *Doctor en Gestión y Calidad de la Investigación Científica* . Estelí, Estelí, 30 de 06 de 2018.
- Ricoy Lorenzo, Carmen. «Contribución sobre los paradigmas de investigación, Universidade Federal de Santa Maria.» *Contribución sobre los paradigmas de investigación, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil.* 05 de Septiembre de 2005. <https://www.redalyc.org/pdf/1171/117117257002.pdf> (último acceso: 16 de Diciembre de 2021).
- Rodriguez. «Análisis de correlación lineal simple.» *Análisis de correlación lineal simple, Estadísticas I.* 28 de mayo de 2012. http://rubenjoserodriguez.com.ar/wp-content/uploads/2012/06/Analisis_Correlacion_Lineal_Simple_MIMMO.pdf (último acceso: 29 de Enero de 2022).
- Rodriguez, Claudia. «RESIDUOS GANADEROS, Cursos de Introducción a la Producción Animal. FAV, UNRC.» *RESIDUOS GANADEROS, Cursos de Introducción a la Producción Animal. FAV, UNRC.* 2002. https://www.produccion-animal.com.ar/sustentabilidad/05-residuos_ganaderos.pdf (último acceso: 11 de Octubre de 2021).
- Rodríguez, Pedro Antonio. «GiGET, Impacto de los residuos orgánicos sobre algunos indicadores del crecimiento y productividad de la malanga .» *GIGET, Impacto de los residuos orgánicos sobre algunos indicadores del crecimiento y productividad de la malanga* . 15 de 02 de 2017. <https://www.redalyc.org/journal/1813/181351615004/> (último acceso: 15 de 10 de 2016).

- Rodríguez, Rubén José. «Análisis de Correlación Lineal Simple y Lineal Simple.» *Análisis de Correlación Lineal Simple y Lineal Simple, ESTADÍSTICA I*. Mayo de 2012. http://rubenjoserodriguez.com.ar/wp-content/uploads/2012/06/Analisis_Correlacion_Lineal_Simple_MIMMO.pdf (último acceso: 29 de Enero de 2022).
- Rovira, Pablo. «Residuos en carne, Una visión desde el sector productivo.» *Residuos en carne, Una visión desde el sector productivo*. 04 de Septiembre de 2008. https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R127/R_127_38.pdf (último acceso: 14 de Octubre de 2021).
- Sanabria Vindell., Octavio José , Ariel Eduardo Sánchez Melgara., y Yalmar Salatiel Rodas Espinoza. *GENERACIÓN DE BIOGÁS MEDIANTE EL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA A PARTIR DE APROVECHAMIENTO DE SUSTRATOS ORGÁNICOS (PASTO Y ASERRIN), EN LA CIUDAD DE ESTELÍ EN EL AÑO 2017*. 09 de Enero de 2018. <https://repositorio.unan.edu.ni/9367/1/18880.pdf> (último acceso: 06 de Diciembre de 2021).
- Sánchez Ruíz, Denisse Carolina, y Frankling Alexander Calero Montano. *Obtención de Biogás a partir de la mezcla estiércol bovino– agua mediante la construcción de un Biodigestor tipo Batch a escala de laboratorio*. Septiembre de 2013. <https://repositorio.unan.edu.ni/9288/> (último acceso: 6 de Diciembre de 2021).
- Santamaria Zapata, Sergio. «Estudio sobre el Mercado de Carne Bovina y sus Condiciones de Competencia.» *Estudio sobre el Mercado de Carne Bovina y sus Condiciones de Competencia, Ministerio de Fomento, Industria y Comercio- MIFIC*. Enero de 2006. <https://unctadcompal.org/wp-content/uploads/2017/03/Nicaragua-Sector-Carne-Bovina-NUEVO.pdf> (último acceso: 23 de Septiembre de 2021).
- Sogari, N, F Vazquez, F Martinez, V Monzon, V Bertona, y N Planisich. «GENERACIÓN DE BIOGAS A PARTIR DE LA DEGRADACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE FRIGORÍFICOS.» *GENERACIÓN DE BIOGAS A PARTIR DE LA DEGRADACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE FRIGORÍFICOS*. 10 de Octubre de 2016. https://repositorio.unne.edu.ar/bitstream/handle/123456789/28840/RIUNNE_FACENA_A_C_Sogari-Vazquez-Martinez.pdf?sequence=1&isAllowed=y (último acceso: 01 de Noviembre de 2021).
- Tamayo y Tamayo, Mario . «El proceso de la investigación científica.» En *El proceso de la investigación científica*, de Mario Tamayo y Tamayo, 176. Mexico: LIMUSA, S.A. D, 2003.
- Tamayo y Tamayo, Mario. «Proceso de la Investigación científica.» En *cuarta edición*, 175. Mexico: LIMUSA, S.A. DEC.V., 2003.
- Tenerife. «Estudio nacional e internacional de modelos de gestión de residuos.» *Estudio nacional e internacional de modelos de gestión de residuos, Residuos de*. 15 de Noviembre de 2011. https://www.tenerife.es/planes/PTEOResiduos/adjuntos/Anexo01_Info07.pdf (último acceso: 25 de Octubre de 2021).

- Themelis, Nickolas J., y Priscilla A. Ulloa. «sciencedirect, Generación de metano en vertederos, 1243-1257, Volumen 32, Numero 7.» *sciencedirect*. Junio de 2007. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148106001091> (último acceso: 03 de agosto de 2021).
- Tortosa, German. «Compostando ciencia.» *Compostando ciencia*. 10 de junio de 2013. <http://www.compostandociencia.com/2013/06/gallinaza-html/> (último acceso: 10 de junio de 2013).
- Toruño, Lester Ali, Edinson Israel Lira, y Dina Massiel Casco. «Estudio de producción de biogás por medio del proceso de digestión anaerobia no controlada a partir de diferentes sustratos organicos en la faculta regional Multidisciplinaria(FAREM-ESTELI).» *Trabajo monográfico para optar al título de Ingeniero en Energías Renovables*. Esteli, 15 de 12 de 2016.
- Varnero , Maria Teresa. «Manual de Biogas, FAO.» *Manual de Biogas, FAO*. 2011. <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf> (último acceso: 10 de Octubre de 2021).
- VARNERO, MARIA TERESA. «Manual de Biogas.» En *Manual de biogas*, de FAO. Chile, 2011.
- Veall, Frederick . «ESTUDIO FAO PRODUCCION Y SANIDAD ANIMAL, TRATAMIENTO DE LOS DESECHOS Y ELIMINACION DE LAS AGUAS RESIDUALES.» *ESTUDIO FAO PRODUCCION Y SANIDAD ANIMAL, TRATAMIENTO DE LOS DESECHOS Y ELIMINACION DE LAS AGUAS RESIDUALES*. 1993. <http://www.fao.org/3/t0566s/t0566s14.htm> (último acceso: 24 de Septiembre de 2021).
- Vega , y Ramirez. *Composicion quimica Biogas*. 2015.
- Veiga Barbazán, Maria del Carmen . «DIGESTIÓN ANAEROBIA.» *DIGESTIÓN ANAEROBIA, TRATAMIENTO BIOLÓGICO*. Septiembre de 2015. <https://www.wateractionplan.com/documents/177327/558161/Digesti%C3%B3n+anaer%C3%B3bica.pdf/9654dcfc-ae4c-1bb9-e38e-43648e8f29ce> (último acceso: 16 de Diciembre de 2021).
- Velasco Rojano, Jessica Margoth. «Alternativas para manejo y reutilización de residuos ambientalmente contaminantes producto del procesamiento de embutidos en las empresas carnicos, Ecuador.» *Alternativas para manejo y reutilización de residuos ambientalmente contaminantes producto del procesamiento de embutidos en las empresas carnicos, Ecuador*. Septiembre de 2021. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/7065/1/PC-001063.pdf> (último acceso: 25 de Octubre de 2021).
- Ventura Irías, Cindy Michelle . «Productividad de metano a partir de residuos de cultivo de maíz y frijol.» *Productividad de metano a partir de residuos de cultivo de maíz y frijol*. Noviembre de 2014. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/3335/1/IAD-2014-T027.pdf> (último acceso: 01 de Noviembre de 2021).
- Viva Nicaragua. «Viva Nicaragua.» *Viva Nicaragua, Canal 13. Instalan nuevo matadero con inversión cubana en Estelí*. 18 de Noviembre de 2019.

<https://www.vivanicaragua.com.ni/2019/11/18/sociales/matadero-inversion-cubana-esteli/> (último acceso: 11 de Septiembre de 2021).

Zorg, Biogas. «Zorg.» *Zorg*. 2021. <https://zorg-biogas.com/es> (último acceso: 2021).

Anexo 2 Formato de registro de producción de biogás



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA
UNAN - MANAGUA
FACULTAD REGIONAL MULTIDISCIPLINARIA
FAREM - ESTELI
FORMATO DE REGISTRO DE DATOS DE PRODUCCIÓN DE BIOGAS
DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL DE BIOGAS A PARTIR DE RESIDUOS CARNICOS MEDIANTE
BIODIGESTORES DE LABORATORIO DE TIPO BATCH, EN EL AÑO 2021
LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

RESPONSABLE:

LUGAR:

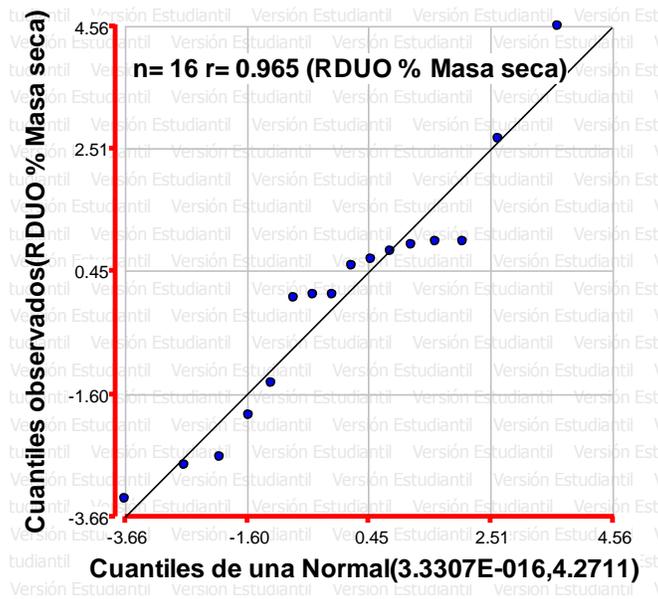
FECHA DE INICIO:

FECHA DE FINALIZACIÓN :

MUESTRA DE LOS SUSTRATOS (EFLUENTES) RELACIÓN DE DESECHOS CARNICOS 2:1 y 1:1															
Relacion 1:1				Relacion 2:1				Relacion 1:1				Relacion 2:1			
MUESTRA DE DESECHOS CARNICOS A				MUESTRA DE DESECHOS CARNICOS B				MUESTRA DE DESECHOS CARNICOS C				MUESTRA DE DESECHOS CARNICOS D			
TR (Dias)	TEMPERATURA	PH	PRODUCCION	TR (Dias)	TEMPERATURA	PH	PRODUCCION	TR (Dias)	TEMPERATURA	PH	PRODUCCION	TR (Dias)	TEMPERATURA	PH	PRODUCCION
1				1				1				1			
2				2				2				2			
3				3				3				3			
4				4				4				4			
5				5				5				5			
6				6				6				6			
7				7				7				7			
8				8				8				8			
9				9				9				9			
10				10				10				10			
11				11				11				11			
12				12				12				12			
13				13				13				13			
14				14				14				14			
15				15				15				15			
16				16				16				16			

Activar Windows

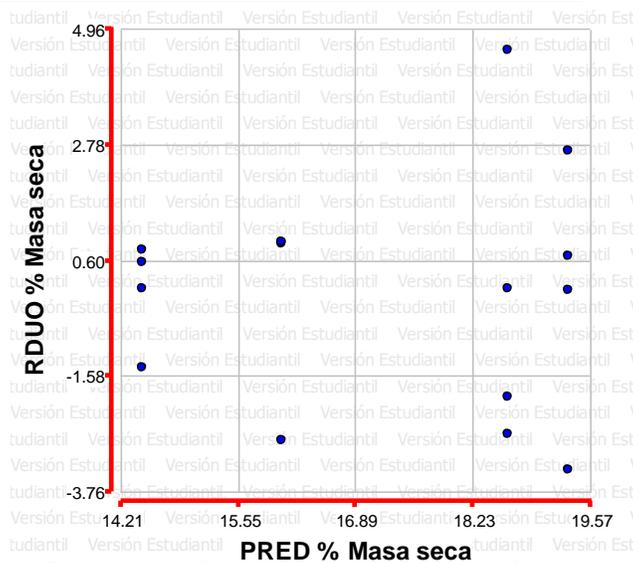
Anexo 1 normalidad de los residuos ANOVA 1



Prueba de Shapiro Francia

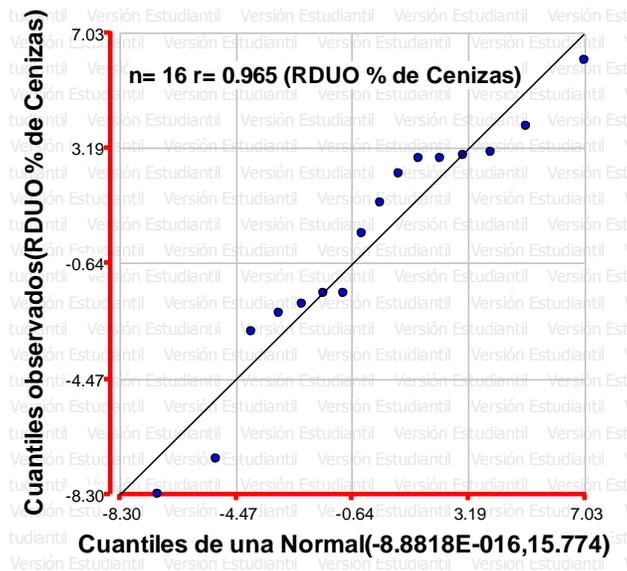
Prueba de Levene RDUO % de masa seca

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.00	3	0.00	0.00	>0.9999
Tratamientos	0.00	3	0.00	0.00	>0.9999
Error	64.07	12	5.34		
Total	64.07	15			



Prueba de independencia de los residuos.

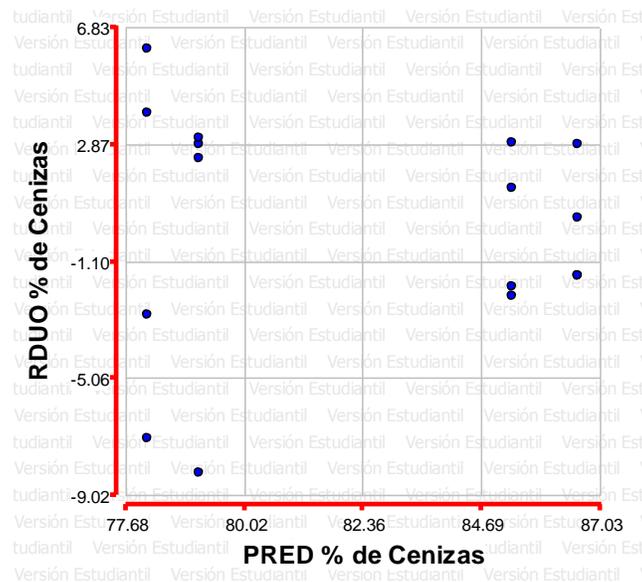
Anexo 2 Normalidad de los residuos ANOVA 2



Prueba de Shapiro Francia

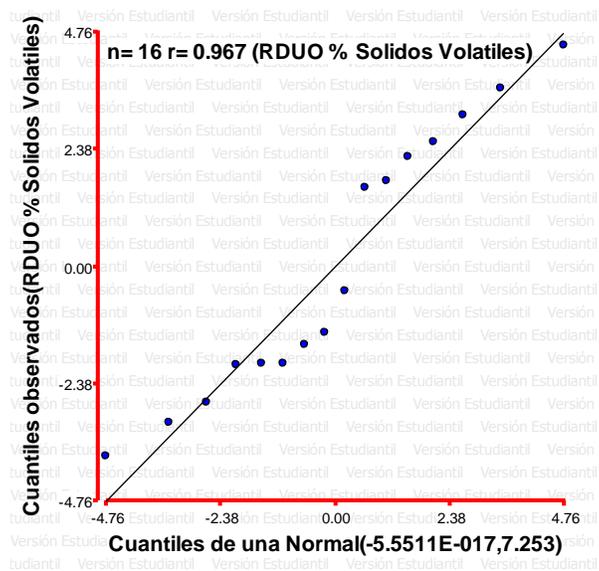
Prueba de Levene RDUO % de cenizas

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.00	3	0.00	0.00	>0.9999
Tratamientos	0.00	3	0.00	0.00	>0.9999
Error	236.61	12	19.72		
Total	236.61	15			



Prueba de independencia de los residuos

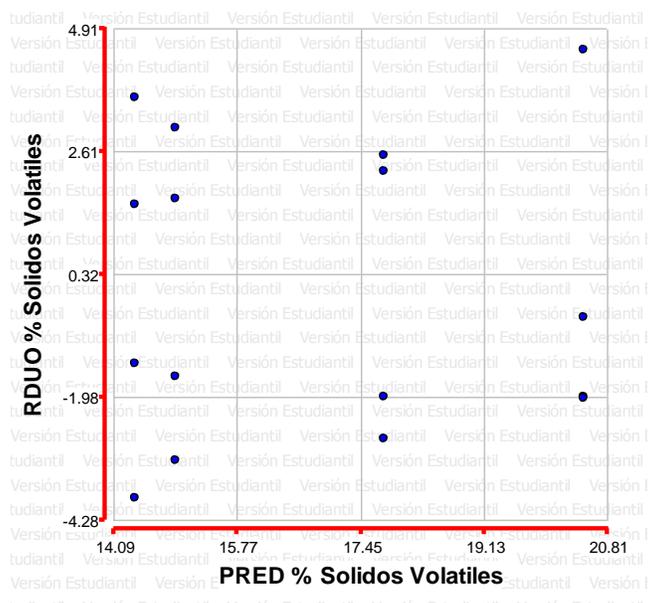
Anexo 3 Normalidad de los residuos ANOVA 3



Prueba de Shapiro Francia

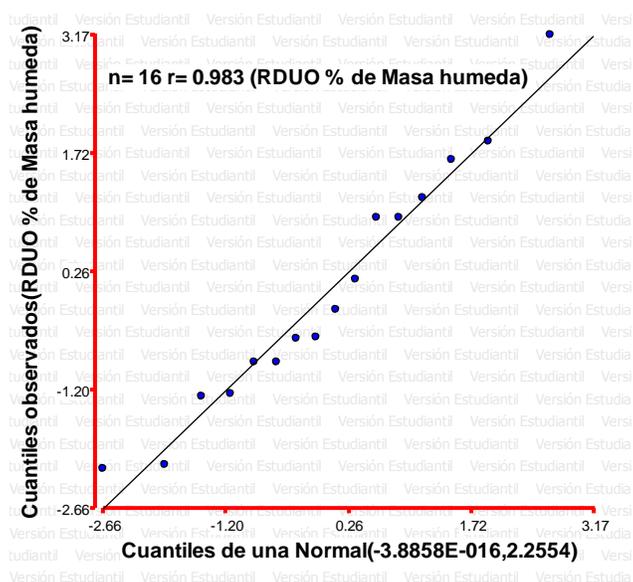
Prueba de Levene RDUO % Solidos Volátiles

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.00	3	0.00	0.00	>0.9999
Tratamientos	0.00	3	0.00	0.00	>0.9999
Error	108.79	12	9.07		
Total	108.79	15			



Prueba de independencia de los residuos

Anexo 4 Normalidad de los residuos ANOVA 4

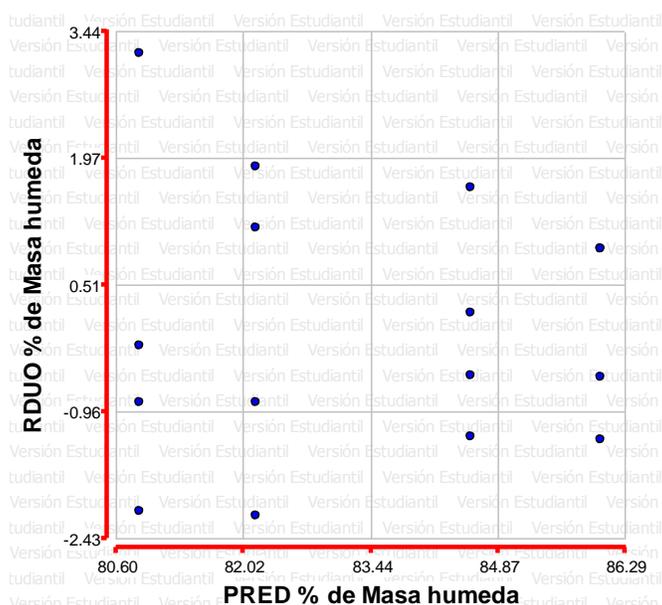


Prueba de Shapiro Francia

Prueba de Levene RDUO % masa humeda

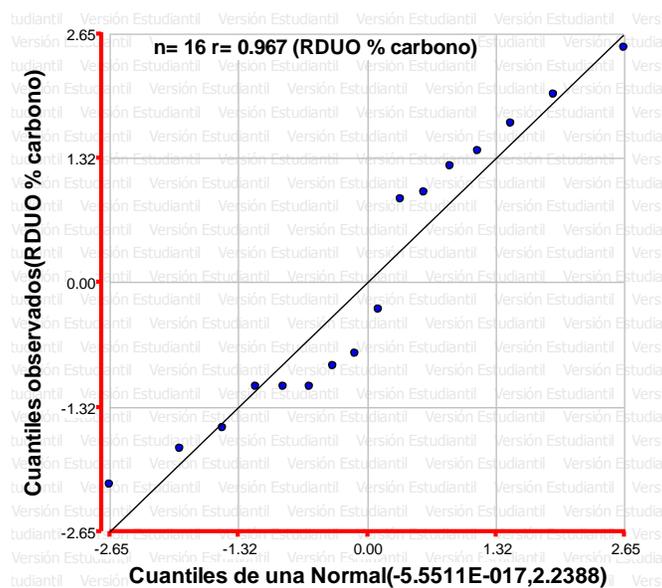
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.00	3	0.00	0.00	>0.9999
Tratamientos	0.00	3	0.00	0.00	>0.9999
Error	33.83	12	2.82		

Total 33.83 15



Prueba de independencia de los residuos

Anexo 5 Normalidad de los residuos ANOVA 5

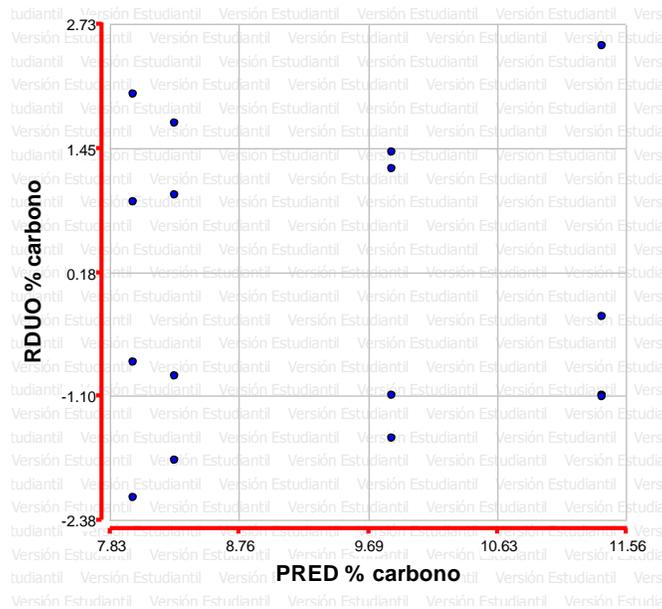


Prueba de Shapiro Francia

Prueba de Levene RDUO % carbono

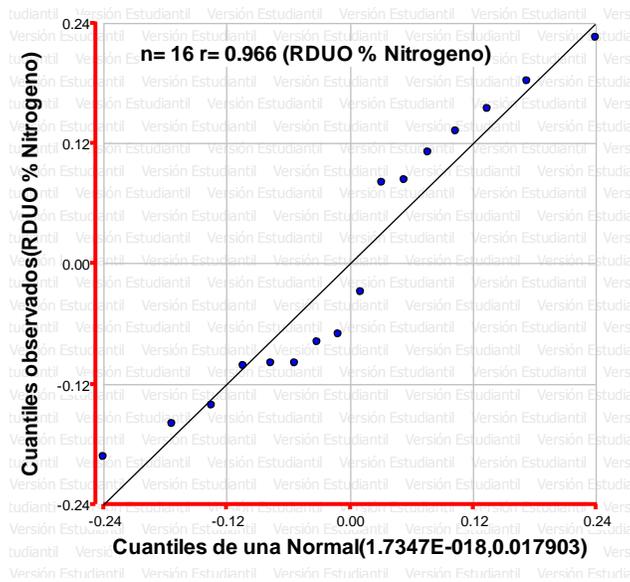
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.00	3	0.00	0.00	>0.9999
Tratamientos	0.00	3	0.00	0.00	>0.9999

Error	33.58	12	2.80
Total	33.58	15	



Prueba de independencia de los residuos

Anexo 6 Normalidad de los residuos Anova 6

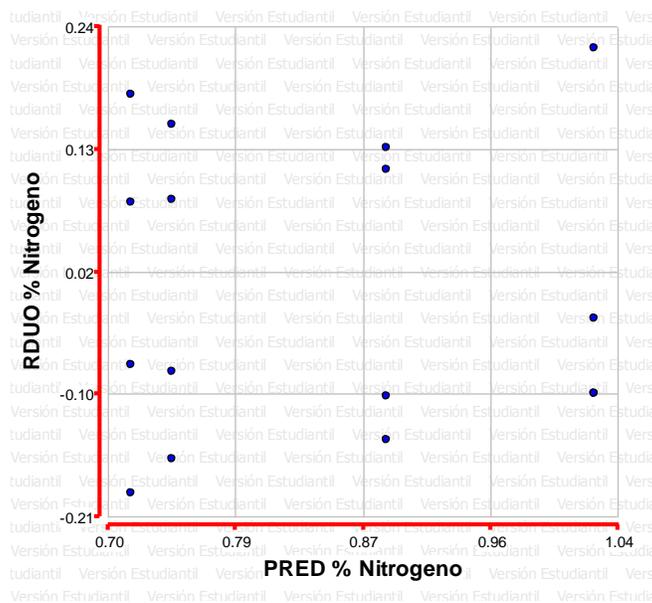


Prueba de Shapiro Francia

Prueba de Levene RDUO nitrógeno

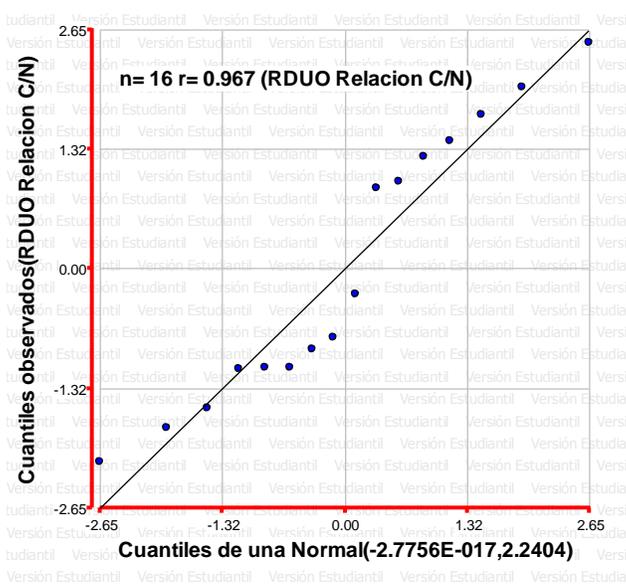
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.00	3	0.00	0.00	>0.9999
Tratamientos	0.00	3	0.00	0.00	>0.9999

Error	0.27	12	0.02
Total	0.27	15	



Prueba de independencia de los residuos

Anexo 7 Normalidad de los residuos ANOVA 7

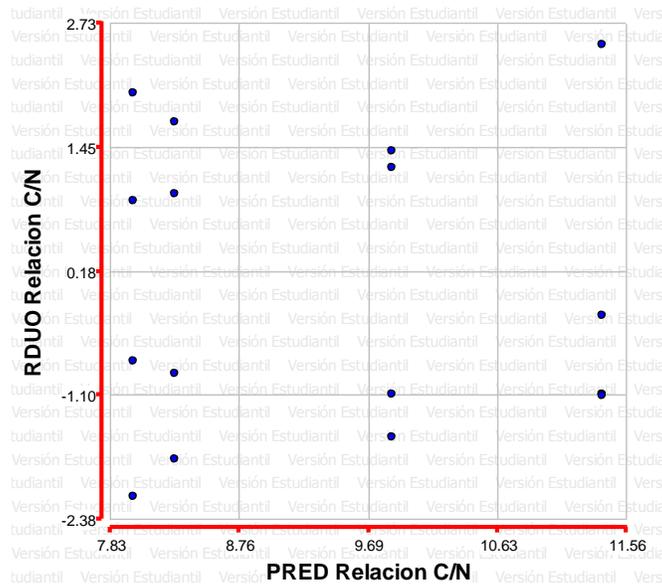


Prueba de Shapiro Francia

Prueba de Levene RDUO Relación C/N

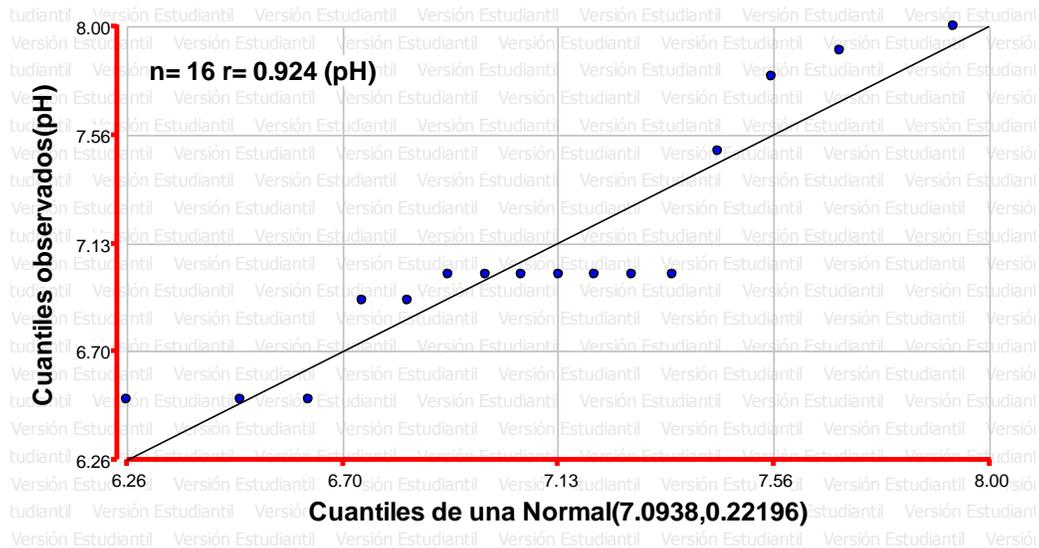
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.00	3	0.00	0.00	>0.9999

Tratamientos	0.00	3	0.00	0.00	>0.9999
Error	33.61	12	2.80		
Total	33.61	15			



Prueba de independencia de los residuos

Anexo 8 Normalidad de los residuos ANOVA 8

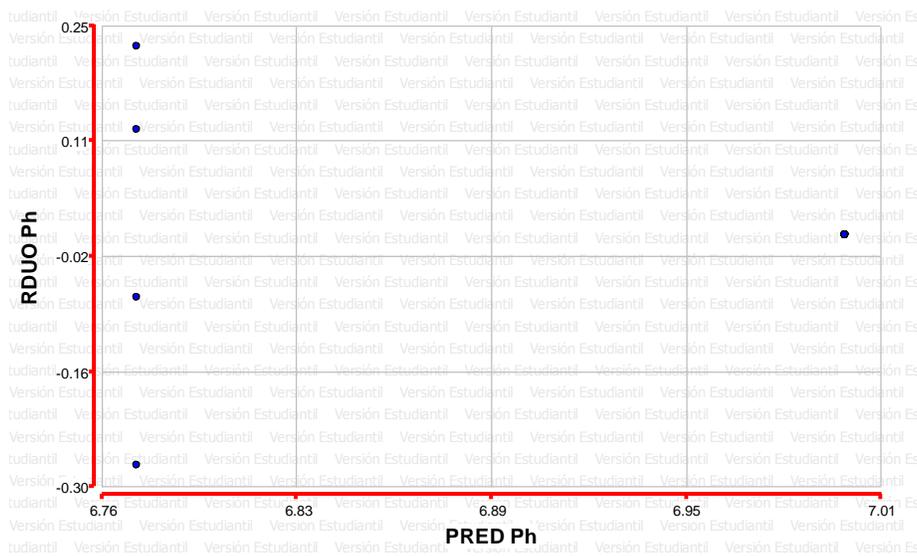


Prueba de Shapiro Francia

Prueba de Levene RDUO pH

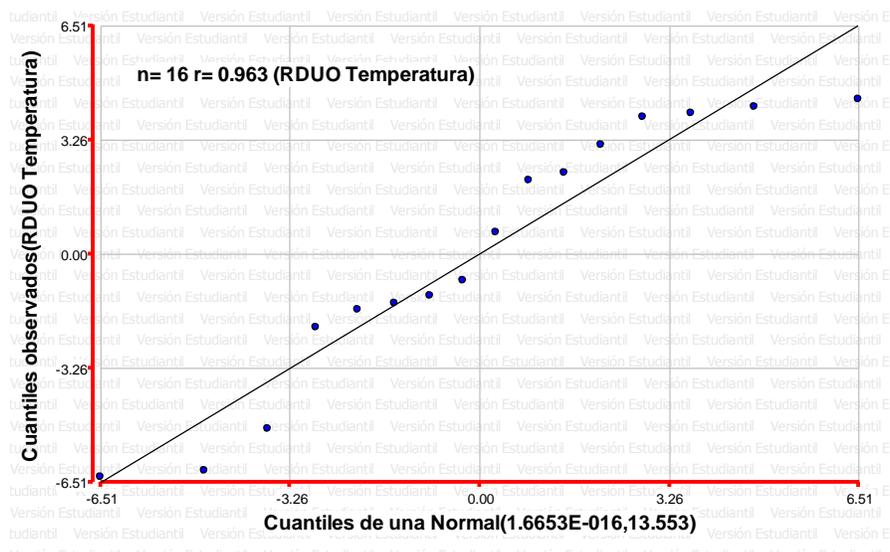
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
------	----	----	----	---	---------

Modelo	0.00	3	0.00	0.00	>0.9999
Tratamientos	0.00	3	0.00	0.00	>0.9999
Error	0.15	12	0.01		
Total	0.15	15			



Prueba de independencia de los residuos

Anexo 9 Normalidad de los residuos ANOVA 9

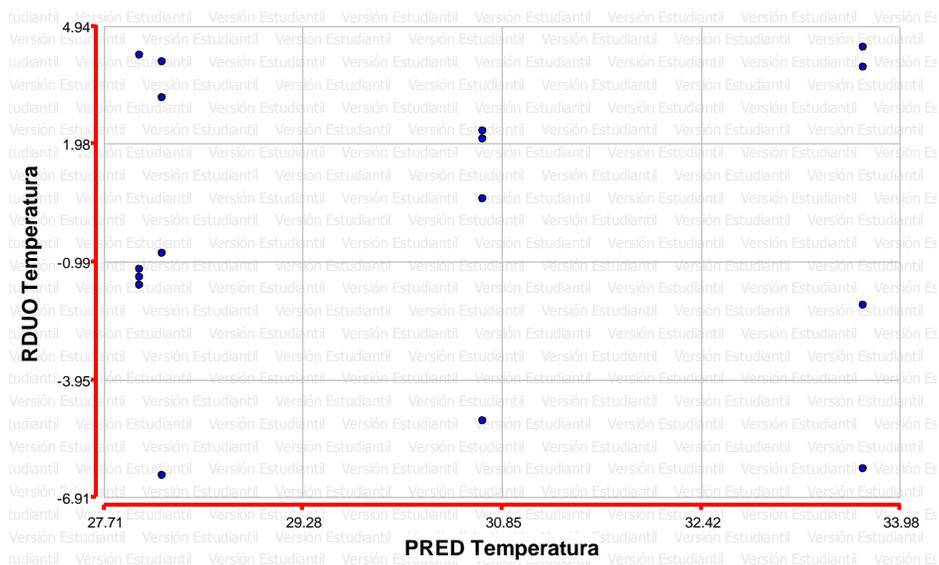


Prueba de Shapiro Francia

Prueba de Levene RDUO temperatura

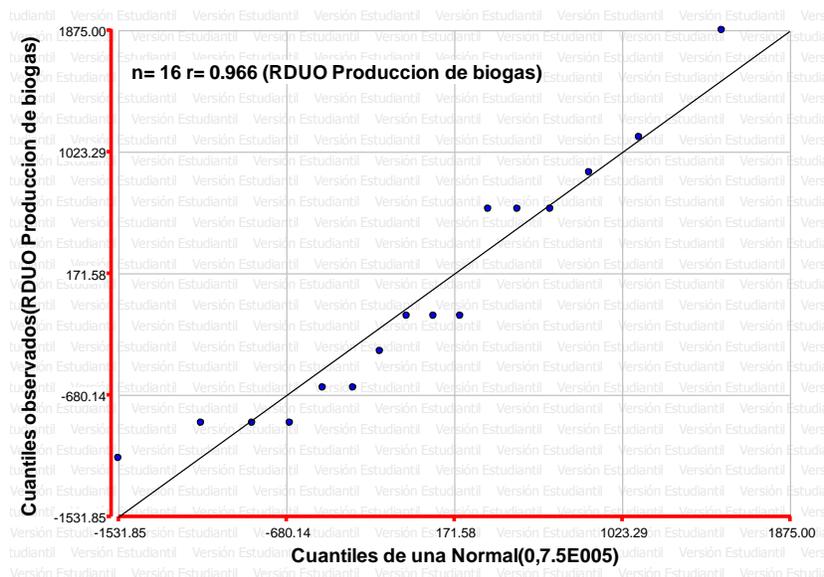
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
------	----	----	----	---	---------

Modelo	0.00	3	0.00	0.00	>0.9999
Tratamientos	0.00	3	0.00	0.00	>0.9999
Error	203.29	12	16.94		
Total	203.29	15			



Prueba de normalidad de los residuos

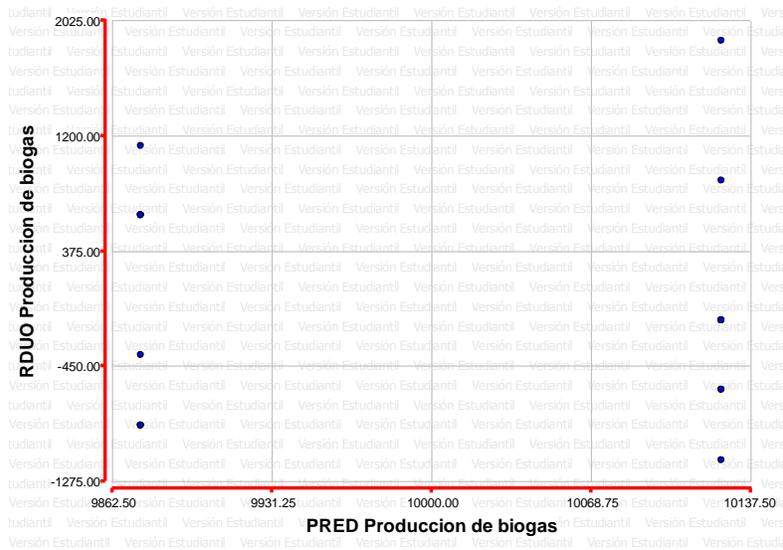
Anexo 10 Normalidad de los residuos ANOVA 10



Prueba de Shapiro Francia

Prueba de Levene RDUO produccion de biogás

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.00	3	0.00	0.00	>0.9999
Tratamientos	0.00	3	0.00	0.00	>0.9999
Error	11250000.00	12	937500.00		
Total	11250000.00	15			



Prueba de independencia de los residuos



Figura 12 Prueba de flama.



Figura 13 medición de pH



Figura 14 medición de temperatura

Figura 15 prueba de la probeta



Figura 16 Unidades experimentales