



UNIVERSIDAD DE SANCTI SPÍRITUS “JOSÉ MARTÍ PÉREZ”
FACULTAD DE CIENCIAS TÉCNICAS Y EMPRESARIALES
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

Trabajo de Diploma

Título: Estimación del potencial energético de los residuos avícolas para la producción de biogás en la provincia de Sancti Spíritus.

Autor: Rozney Raúl Alvarez Meneses.

Tutores: Dr. C. Ernesto L. Barrera Cardoso.

Lic. Wendy L. Duharte Rodríguez.

Sancti Spíritus, 2019.
“Año 61 de la Revolución”

RESUMEN

La protección del medio ambiente y el progresivo consumo de recursos energéticos constituyen dos cuestiones significativas para el mundo actual así como para el futuro inmediato, es por ello que la búsqueda de fuentes energéticas renovables, resultan hoy un reto científico técnico que debe ser afrontado con urgencia. La presente investigación hace un estudio sobre el potencial energético que poseen los residuos avícolas, en especial la gallinaza, para la producción de biogás en la Empresa Avícola de la provincia de Sancti Spíritus. Primeramente se recolectaron las muestras necesarias y luego se le realizaron los análisis de laboratorio pertinentes para la caracterización del residuo, a través de técnicas analíticas de cuantificación. Se emplearon métodos del nivel teórico, empírico y se utilizaron técnicas de trabajo en grupo, Pareto e Ishikawa. Como resultado del estudio se estima que se pueden generar diariamente unos 6 190,654 mWh de energía eléctrica y 8 618,884 mWh de energía térmica al año, lo que sustentaría el 100 % de la demanda de las entidades y utilizar los excedentes para el incremento de sus niveles productivos.

Palabras claves: gallinaza, biogás, energía renovable, digestión anaerobia.

ABSTRACT

The protection of the environment and the progressive consumption of energy resources constitute two significant questions for the current world as well as for the immediate future, it is for it that the search of renewable energy sources, they are today a technical scientific challenge that should be confronted with urgency. The present investigation makes a study especially on the energy potential that you/they possess the poultry residuals, the chicken manure, for the biogas production in the Poultry Company of the county of Sancti Spíritus. Firstly the necessary samples were gathered and then they were carried out the pertinent laboratory analyses for the characterization of the residual, through technical analytic of quantification. Methods of the theoretical, empiric level were used and they were used technical of work in group, Pareto and Ishikawa. As a result of the study he/she is considered that they can be generated about 6 190,654 mWh of electric power and 8 618,884 mWh of thermal energy daily a year, what would sustain 100 % of the demand of the entities and to use the surpluses for the increment of their productive levels.

Key words: chicken manure, biogas, renewable energy, anaerobic digestión.

PENSAMIENTO



“...tenemos que aprender a sacar del trabajo lo que tiene de interesante a lo que tiene de creador, a conocer el más mínimo secreto de la máquina o el proceso en que nos toca trabajar”.

Ernesto Che Guevara

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a:

A las personas más importantes en mi vida:

A **mis padres** que con su infinito amor han sabido guiar mis pasos y convertirme en un hombre de bien.

A **mi niña**, Lili, fuente inagotable de mi inspiración y de mi confianza eterna en la vida.

A **mi hermano**, Wiro, con paciencia, esfuerzo y sacrificio se logra todo lo que quieras en la vida.

A **mi esposa** que me ha brindado su amor, paciencia y comprensión.

A **la Revolución** que me ha dado la posibilidad de educarme y formarme profesionalmente.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer es siempre tarea difícil, en la memoria se ausentan algunos nombres. Pido disculpa desde ahora a quien resulte olvidado.

A **mis padres**, que son merecedores de todos mis esfuerzos y resultados a lo largo de mi vida.

A **mi hija**, por ser la fuente de mi inspiración, por su amor y ternura.

A **Wiro**, por ser el mejor hermano del mundo.

A **mi esposa**, por su amor, comprensión y apoyo incondicional en todo momento.

A **mis tutores**, Ernesto y Wendy, por su excelente trabajo, tiempo y dedicación.

A **mis compañeros y amigos**, que hemos enfrentado juntos buenos y malos momentos a lo largo de estos años.

A **mis maestros y profesores**, por hacerme dar lo mejor de mí y prepararme para la vida.

A **todas las personas** que me hicieron ver que lo más importante de esta vida es prepararse para ser un miembro útil para la sociedad.

A todos;

Muchas gracias

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	8
1.1. Problemática Ambiental y Energética.....	9
1.1.1. Situación actual.....	10
1.2. Acumulación de residuales.....	11
1.2.1. Residuos disponibles en la Empresa Avícola Sancti Spíritus.....	12
1.2.2. Características de la Gallinaza.	13
1.2.3. Principales afectaciones.	15
1.3. Fuentes renovables de energía.....	17
1.3.1. Ventajas y desventajas.....	18
1.3.2. Tipos de energías renovables.....	18
1.4. Digestión Anaerobia.....	20
1.4.1. Principales etapas de la Digestión Anaerobia.....	21
1.4.2. Productos obtenidos en la Digestión Anaerobia.	22
1.5. Potencial energético.....	24
1.5.1. Estudios sobre potencial energético.....	24
1.5.2. Limitaciones.....	26
1.6. Conclusiones parciales del capítulo.....	27
CAPÍTULO 2: CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS AVÍCOLAS.....	28
2.1. Introducción	28
2.2. Etapa I: Caracterización de los residuos avícolas.....	28
2.2.1 Cantidad de residuos avícolas.	28
2.2.2. Recolección de la Gallinaza	30
2.2.3 Caracterización de la gallinaza.	33
2.3 Etapa II: Estimación del potencial energético de los residuos avícolas	38
2.3.1 Potencial energético de la gallinaza.	38
2.4 Etapa III: Elaboración del plan de acciones para minimizar la acumulación de residuales	39
2.4.1 Elaboración del plan de acciones	39
2.5 Conclusiones parciales del capítulo.....	41
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	42

3.1. Introducción.	42
3.2. Etapa I: Caracterización de los residuos avícolas	42
3.2.1 Descripción de la Empresa Avícola Sancti Spíritus.	42
3.2.2 Cantidad de residuos generados.	43
3.2.3 Características fisicoquímicas de la gallinaza.	44
3.3. Etapa II: Estimación del potencial energético de los residuos avícolas	48
3.3.1 Potencial energético de la gallinaza.	48
3.4. Etapa III: Elaboración del plan de acciones para minimizar la acumulación de residuales.	52
3.4.1 Elaboración del plan de acciones.	52
3.5 Conclusiones parciales del capítulo.	54
CONCLUSIONES GENERALES	55
RECOMENDACIONES	56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos y el crecimiento de la población mundial implican que las actividades humanas consuman cada vez niveles más elevados de energía. La evolución más progresiva de la demanda energética, la disponibilidad de energía, su costo, sus impactos ambientales y sociales han configurado un espacio de intenso debate (Carabias, 2018). Esto trae consigo problemas como el agotamiento de los recursos fósiles y la contaminación ambiental producto de las emisiones a las fuentes de energía convencionales. Por lo cual se hace necesario satisfacer las demandas energéticas, pero, disminuyendo su impacto ambiental.

En este contexto la energía se ha posicionado en la vanguardia de la agenda global, pues se ha visto que está profundamente relacionada con el desarrollo de una nación, seguridad global y protección del medio ambiente (Robles Algarin & Rodríguez Álvarez, 2018).

En la década de 2005-2015 la proporción de las fuentes de energías renovables en Europa aumentó con rapidez respecto al total de energía utilizada. Algunos sectores y países están marcando la pauta en lo que se refiere a la energía limpia. Sin embargo, a pesar de que su cuota de mercado se está reduciendo, los combustibles fósiles siguen siendo la fuente de energía predominante (Eionet, 2017).

Existe una crisis en el modelo energético mundial debido al exceso en el uso de combustibles fósiles que causan daño a la biosfera terrestre, en ocasiones irremediables, provocando alteraciones en el Medio Ambiente, incrementando la ocurrencia de fenómenos naturales (huracanes, graves sequías, fuertes lluvias, tornados, crudos inviernos, etc.) (Useros Fernández, 2012).

América Latina requiere avanzar en el uso de energías alternativas, renovables, sustentables en su generación y económicamente sostenible. En la actualidad, el incremento de la demanda y consumo de energía respecto a las dificultades que existen para satisfacerlas con las fuentes de energía disponibles, figura un escenario de crisis global (Correa Álvarez, González González, & Pacheco Alemán, 2016).

Ante la constante subida a los precios de los combustibles fósiles ligado a la crisis medioambiental que estos generan, la bioenergía toma gran valor, ya que el desarrollo de esta se encuentra de manera abundante y asequible. Corresponde a un

recurso de costo relativamente bajo con una flexibilidad en cuanto a sus aplicaciones. Esta tecnología presenta una gran oportunidad para Cuba debido a las múltiples formas en las que puede obtenerse (desechos forestales, agrícolas y ganaderos), por medio del procesamiento de estos se puede producir la energía en forma de electricidad y calefacción, dando máxima utilización a cada elemento generado (Sánchez Borroto et al., 2014).

La insuficiencia de recursos propios de combustibles fósiles en Cuba la hace proclive a una gran dependencia energética de otros países y con ello se hace vulnerable el sistema energético. Esto quiere decir que el actual modelo energético es insostenible a largo plazo, por lo que urge acelerar su proceso de sustitución.

A partir de la introducción como política social y económica de los Lineamientos trazados en el VI Congreso del Partido, descritos en el capítulo V, lineamiento 131 (Cuba, 2011, p. 21) y capítulo VIII, lineamiento 247 (Cuba, 2011, p. 32), en nuestro país la utilización de las energías renovables es considerada una opción primordial para el desarrollo.

Los avances tecnológicos han influenciado el crecimiento del sector avícola, pasando de un sistema extensivo a un sistema intensivo que permite incrementar la producción en períodos de tiempo más cortos, en espacios reducidos y con menor mano de obra (FAO, 2013).

Las granjas avícolas requieren de energía para proveer el máximo confort, calidad del aire y luminosidad adecuada para las aves en las diferentes etapas de crecimiento y producción, independientemente de las condiciones climáticas externas. Igualmente la energía es necesaria para mover los alimentos, equipos, desechos y obtener agua. Los costos de esta energía tienden a ir incrementándose en todo el mundo y existe mayor presión pública para reducir las emisiones de olores y gases, incluyendo la producción de CO₂. En las condiciones actuales reducir el uso de la energía es muy importante y es posible disminuir significativamente las emisiones de gases a la atmósfera, todo esto con la utilización de los residuos avícolas como sustrato para la producción de biogás (Oviero Rondon, 2009).

El crecimiento de la producción avícola en los últimos años ha hecho que los residuos procedentes de este sector también aumenten. Estos residuos contienen

altos contenidos de nutrientes y material orgánico por lo que tienen alta demanda como abono en la agricultura, sin embargo, genera contaminación al suelo por las cantidades de sales del estiércol; al agua subterránea por la lixiviación de nitratos y la proximidad con niveles freáticos (Ortez & Zelada, 2010). Además emiten olores desagradables que propician la proliferación de vectores y microorganismos patógenos. Los compuestos que están presentes en los residuos, al no ser correctamente tratados, se liberan a la atmósfera, incrementando las emisiones de gases (Méndez Sarabia et al., 2016). Estos efectos negativos sobre el medio ambiente exigen tener un manejo adecuado de estos residuos.

En el año 2010, la creciente preocupación por los efectos ambientales de la explotación intensiva de aves llevó a la comunidad Europea a crear un consejo que regulara el control de la contaminación ambiental por residuos avícolas (Y. García, Ortiz, & Wo, 2008).

Dentro de los diferentes sistemas de producción avícola se debe contemplar un manejo adecuado de los desechos, para que en vez de generar contaminación se conviertan en una fuente de ingresos y permita buscar alternativas económicas para el uso y manejo eficiente de los residuos (Tamayo Rojas, 2014).

Actualmente existen en el mundo tecnologías para tratar los residuos avícolas como son; el compostaje, lagunas de oxidación y biodigestores anaerobios. Esta última tecnología convierte los residuos en productos energéticos, siendo una alternativa viable, desde el punto de vista económico y ambiental (Irigoyen, 2015). La digestión anaeróbica constituye una buena alternativa para tratar residuos con elevada materia orgánica biodegradable, según Suárez-Hernández et al. (2018). Por tanto, este tratamiento está indicado para residuos urbanos, que comprenden tanto la fracción orgánica de residuos (Association, 2015), como los lodos de depuradora de aguas residuales urbanas (Suárez-Hernández et al., 2018); y se puede utilizar además para los residuos agropecuarios, como purines y estiércol (Bansal, Tumwesige, & Smith, 2017).

Este tratamiento también se puede utilizar en mezclas de residuos de diferente origen y composición, aprovechando la sinergia de las mezclas y compensando la

carencia de cada residuo por separado, en lo que se conoce como codigestión anaerobia (Agostini et al., 2015).

En Cuba, esta tecnología se introduce a principios de los años ochenta del siglo XX, enfocándose principalmente a solucionar el impacto ambiental generado por las destilerías, grandes centros porcinos y de engorde bovino, esto cobró gran auge entre las actividades productivas. Después, con el paso del tiempo, muchos de estos sistemas fueron desatendidos, hasta que dejaron de funcionar la mayoría de las plantas instaladas; lo que se debió principalmente a los bajos precios de la corriente eléctrica en ese momento y la poca motivación de las entidades hacia la utilización de las fuentes renovables de energía (Blanco Betancourt et al., 2012).

En nuestro país se han realizado investigaciones dirigidas a la producción de biogás específicamente a los tipos de plantas y tecnologías a utilizar y al uso de diferentes sustratos. López Gonzalez (2016) refiere basar la estimación teórica de potenciales de biomasa a partir de recursos agrícolas, pecuarios e industriales. Otro estudio, Sosa et al. (2017), estima el potencial real de residuos disponibles en el sector cooperativo y campesino que es bien representativo en la producción de estos y que pueden ser utilizados para producir biogás a gran escala. Estudios en la provincia espirituana, Oria Gómez (2010), muestran que existen potencialidades de residuos biodegradables que se pueden utilizar en la producción de energía. Sin embargo, no se realizan estos estudios desde la perspectiva de la utilización de los residuos avícolas en dicha producción, ni del potencial energético que estos poseen.

En la presente investigación, las contradicciones esenciales quedan expresadas en el mal manejo de los residuos procedentes de la industria avícola y su impacto ambiental, además de no conocer sus potencialidades energéticas para la producción de biogás, por lo que se declara el siguiente **problema de la investigación**: Son limitados los conocimientos sobre el potencial energético de los residuos avícolas para la producción de biogás en la provincia de Sancti Spíritus.

A partir del problema científico el **objeto de estudio** se circunscribe en el potencial energético de los residuos avícolas y se identifica como **campo de acción** los residuos avícolas.

Las consideraciones anteriores condujeron a formular la siguiente **hipótesis general de la investigación**: Si se caracterizan los residuos avícolas de la provincia de Sancti Spíritus entonces se podrá estimar su potencial energético para la producción de biogás.

Para la validación de la hipótesis se identifica como **variable independiente**: caracterizar los residuos avícolas y como **variable dependiente**: estimar su potencial energético para la producción de biogás.

Se declara como **objetivo general de la investigación**: Estimar el potencial energético de los residuos avícolas para la producción de biogás en la provincia de Sancti Spíritus.

En relación con el problema científico y el objetivo general se formularon los siguientes **objetivos específicos**:

- 1- Construir el marco teórico referencial de la investigación, derivado de un análisis crítico de la literatura científica, nacional e internacional, sobre las fuentes de energía renovables, vertimiento de residuales y potencialidades energéticas de los residuos avícolas para la producción de biogás.
- 2- Caracterizar los residuos avícolas de las diferentes granjas en la provincia de Sancti Spíritus a partir del uso de técnicas analíticas de cuantificación.
- 3- Estimar el potencial energético de los residuos avícolas para la producción de biogás en la provincia de Sancti Spíritus.
- 4- Elaborar un plan de acciones para contribuir a la gestión de residuos en la Empresa Avícola de Sancti Spíritus.

La investigación se realizó en las UEB Ponedoras y Reemplazo de la Empresa Avícola de la provincia de Sancti Spíritus. Como parte del diseño metodológico de la investigación se incorporaron diferentes métodos y técnicas, los cuales se describen a continuación:

Métodos Teóricos

Análisis y síntesis de la información obtenida de la literatura.

Histórico-lógico para estudiar antecedentes, causas, condiciones históricas en las que surgió el problema y lo que se repite en el proceso de desarrollo del objeto.

Sistémico-estructural para abordar las características y el carácter sistémico del tratamiento de los residuales avícolas y los problemas que esto trae consigo.

Inductivo-deductivo para el análisis de los datos, determinar irregularidades, sus causas y sus vías de solución.

Métodos Empíricos

Observación: se utilizó para recopilar información en diferentes etapas del desarrollo de la investigación.

Selección y muestreo de las materias primas para los ensayos.

Análisis estadísticos para el procesamiento de datos y evaluaciones del proceso de obtención de los residuos.

Técnicas de investigación:

Análisis de documentos escritos para transformar la información de la forma primaria a la necesaria para la investigación.

Técnicas de trabajo en grupo.

Diagramas de Pareto e Ishikawa, para selección y precisión de problemas y sus causas.

Significación Práctica: El resultado de esta investigación contribuirá al conocimiento del potencial energético de los residuos provenientes de la industria avícola en el territorio espirituano y crear así las condiciones para la aplicación concreta de la producción y utilización de biogás.

Significación Social: El trabajo aportará información específica y clave para el desarrollo energético de la provincia espirituana ya que centrará las bases de una nueva forma de obtención de energía limpia, el biogás.

Significación Económica: El resultado de esta investigación brindará información clave para lograr transformar la excreta de gallina en biogás y su utilización en las propias granjas avícolas como fuentes de energía y calor, disminuyendo los costos asociados al gasto de estas fuentes.

El informe de este trabajo está estructurado de la siguiente manera:

Capítulo 1: Marco teórico-referencial de la investigación. Se abordan temáticas sobre el vertimiento de residuales, tipos de residuos, fuentes renovables de energía, las características del biogás, estudios de potenciales energéticos.

Capítulo 2: Caracterización de los residuos avícolas como sustrato para la producción de biogás y estimación de su potencial mediante técnicas analíticas.

Capítulo 3: Análisis y discusión de los resultados.

CAPÍTULO 1: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

El análisis bibliográfico constituye una etapa necesaria para la conformación de cualquier trabajo, consiste en la búsqueda y estudio de toda la bibliografía que se relaciona directa o indirectamente con el tema de investigación, tanto nacional como internacional. En correspondencia con lo planteado en la introducción de esta investigación, el desarrollo de este primer capítulo estará centrado en presentar los resultados del trabajo, basado en el estudio de las diferentes temáticas y así poder precisar el problema científico a partir del “estado del arte” del tema de investigación.

En la Figura 1.1 se muestra el hilo conductor seguido para la construcción del Marco Teórico Referencial.

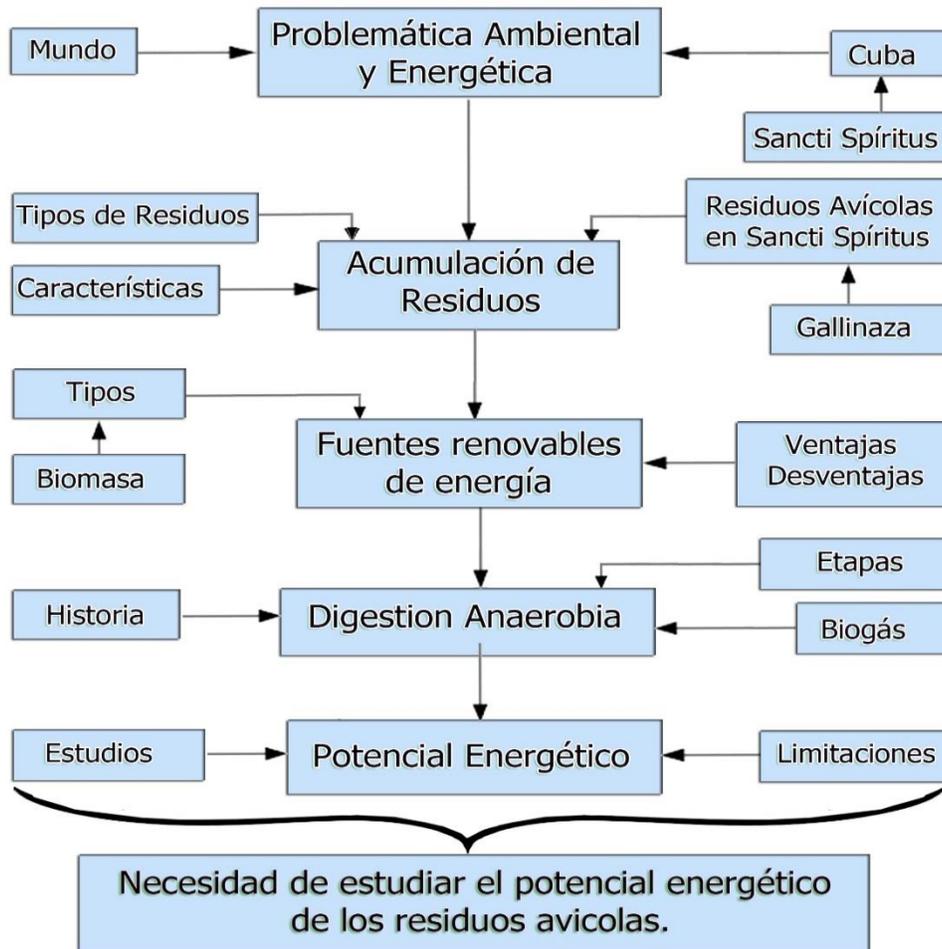


Figura 1.1. Estrategia para la construcción del Marco Teórico-Referencial de la investigación. **Fuente:** Elaboración propia.

Con la construcción del Marco Teórico Referencial, este trabajo pretende realizar un análisis del objeto de estudio mediante el análisis crítico de la bibliografía existente, permitiendo sentar las bases teórico-prácticas acerca del biogás, características del biogás, residuos en las granjas avícolas, tratamiento de residuales, digestión anaerobia y estudios de potenciales energéticos.

En el presente trabajo, se estimará el potencial energético de diferentes proporciones de los residuos avícola, con el fin de determinar la mejor optimización para la producción de biogás en el proceso de digestión anaerobia. Este estudio busca establecer una alternativa para la valorización energética de los residuos que se producen en las diferentes granjas de la Empresa Avícola en la provincia de Sancti Spíritus.

1.1. Problemática Ambiental y Energética

La producción y el uso de la energía suponen la principal causa, junto con el transporte, de las emisiones de gases de efecto invernadero y responsables del cambio climático. Por ello, una de las formas de actuar para limitar e impedir sus gravísimas consecuencias ambientales, sociales y económicas, relacionadas con el aumento de temperatura, subida del nivel del mar y disminución de precipitaciones, entre otras, consiste en reducir el consumo energético.

El modelo de generación, transporte y consumo actual, absolutamente dependiente de los combustibles fósiles, es insostenible como consecuencia del cambio climático que supone.

En la actualidad estamos iniciando una nueva era energética que exige una actuación inmediata, cooperación mundial y perseverancia para alcanzar la sostenibilidad a todos los niveles. Cada día es más incierta la posibilidad de equilibrar el suministro y la demanda de energía. Según la tendencia actual, la demanda mundial de energía se incrementará en más del 40% para el 2030 y se prevé que el consumo mundial de petróleo crezca a un ritmo del 1,5% a un 2% anual, jugando un importante papel en este crecimiento la demanda de potencias como China e India. Mientras tanto, el clima del planeta se va calentando, con graves consecuencias a largo plazo a nivel medioambiental y económico (Jímenez Rodríguez, Macías Socarras, & Núñez Sánchez, 2017).

La energía no es considerada una necesidad básica para un ser humano, esta es considerada por muchos investigadores, legisladores, agencias de ayuda y otras organizaciones civiles como un aspecto clave para alcanzar el desarrollo. La evaluación de los problemas ambientales requiere un enfoque integrado que abarque todos los medios, con especial atención a sus causas y énfasis en los objetivos y estrategias que se deben tomar para hacerles frente.

1.1.1. Situación actual.

América Latina requiere avanzar en el uso de energías alternativas, renovables, sustentables en su generación y racionamiento económicamente sostenible. Dentro de las vías con que cuenta la humanidad para aliviar los problemas energéticos y ambientales, está el aprovechamiento de dichas fuentes de energía.

Varios autores refieren que en los últimos años, en los países europeos, se ha logrado buenos resultados en el desarrollo de fuentes renovables de energía. Países como Alemania (Contreras, López, & Romero, 2006), Suecia y Dinamarca (Barrera, 2007) han tenido resultados considerables en este sentido.

En Cuba en la primera década del actual siglo (2001-2010), se han realizado numerosas investigaciones acerca de sus recursos naturales, la diversidad biológica, los peligros naturales y la situación ambiental, los que aportan una excelente base informativa acerca de la sostenibilidad del país. Sin embargo como objeto de estudio, el desarrollo sostenible ha sido el menos examinado debido a su complejidad, el vínculo que contrae con dimensiones como la económica, la productiva y la social, así como la carencia de indicadores pertinentes para su investigación.

A pesar del brutal y genocida bloqueo comercial y financiero impuesto por los Estados Unidos a la isla, lo que dificulta el suministro de combustible y nos obliga a adquirirlos por terceros países, el desarrollo del sector energético en Cuba ha llegado a cubrir gran parte de la población. Expertos de la Organización Latinoamericana de Energía han concluido que Cuba es el país latinoamericano de mayor potencial bioenergético aprovechable de residuales orgánicos (Fernández, 1999).

Según estudios realizados (Sánchez Borroto et al., 2014), el aporte de las fuentes renovables de energía en Cuba en 2014, representó el 4,91% del total de la producción de energía primaria del país.

A partir de la crisis energética existente en el mundo se hace imprescindible cada día buscar diferentes fuentes renovables de energía. La provincia de Sancti Spíritus cuenta con recursos disponibles para su uso energético, los que pueden ser una fuente primordial para la producción de biogás. Estudios muestran que en la provincia existe un potencial de residuos biodegradables y que se puede usar en la producción de energía renovable (Oria Gómez, 2010). Existen además potenciales estimados teóricamente para la producción de biogás, a partir de los desechos de la producción pecuaria, agrícola e industrial. Existen también estudios sobre la utilización del potencial disponible en desechos orgánicos de la producción agropecuaria, cañero-azucarera, forestal y de desechos orgánicos urbanos (López Gonzalez, 2016). Sin embargo, no hay evidencia en la provincia de estudios anteriores sobre desechos provenientes de la industria avícola, los cuales son un potencial apreciable en la producción de energía y por tanto de alto valor para la mejora de las condiciones energéticas en la provincia de Sancti Spíritus.

1.2. Acumulación de residuales.

Los cambios socioeconómicos de los últimos años, los altos números de personas en núcleos urbanos, el desarrollo de la industria agroalimentaria, la intensificación de la explotación ganadera, entre otras, han propiciado las grandes cantidades de residuos orgánicos que ocasionan daños ambientales. La materia orgánica constituye la materia prima fundamental para la producción de biogás. En principio, cualquier residuo orgánico puede ser tratado de esta forma y el proceso ha sido aplicado a una amplia gama de residuos industriales, agrícolas y domésticos (Hawkes et al., 1994).

Los residuos orgánicos se pueden clasificar de acuerdo al lugar de procedencia, los que proceden del sector primario, residuos naturales, (agrícolas, animales y forestales), los procedentes del sector secundario, residuos industriales (agroalimentarios, textiles, etc.) y finalmente los procedentes del sector terciario o de

servicios, constituidos por residuos sólidos urbanos y lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales (Campos Pozuelo, 2001).

La problemática asociada a la gestión de los residuos orgánicos de origen animal se debe, básicamente, a la separación progresiva de la explotación agropecuaria y la agrícola, de forma que la mayoría de las explotaciones no poseen una base territorial suficiente para reutilizar los residuos. La cantidad y calidad de residuos producida varía mucho, dependiendo del tipo de animal, de la composición de la alimentación y del sistema de manejo de la granja (sistema de alimentación, bebederos, sistema de limpieza, tipo de estercolero o balsa, etc.) (Sociedad-Cubana, 2003). En Cuba los residuos agropecuarios son la mayor fuente de acumulación de residuos y del potencial contaminante.

1.2.1. Residuos disponibles en la Empresa Avícola Sancti Spíritus.

La Empresa Avícola Sancti Spíritus (SANTICAN) se encuentra ubicada en el municipio cabecera del propio territorio, única de su tipo en la provincia. Cuenta con un total de once Unidades Empresariales de Base, dos unidades Reproductoras, dedicadas a la crianza de aves camperas y semirrústicas; cuatro unidades Ponedoras, dedicadas a la producción de huevos de cáscara blanca; dos unidades de Reemplazo, encargadas de formar el reemplazo de aves destinadas a las unidades Ponedoras; y tres unidades de apoyo.

En la actividad avícola se generan diferentes residuos no orgánicos como pueden ser: cartón, vidrio, materiales plásticos, bolsas, papel u otros similares. Otros residuos que se pueden encontrar y además se pueden considerar residuos peligrosos, serían los que provienen de fármacos y de procesos de vacunación, estos pueden ser: empaques, recipientes, insumos vencidos o dañados. Esta actividad produce también aguas residuales como resultado de las operaciones de sacrificio y lavado de las aves, pero sin dudarlo, se puede decir que el residuo sólido orgánico más importante generado por esta actividad es la **gallinaza**. La presente investigación estará centrada en estimar el potencial energético de la gallinaza en las Unidades Empresariales de Base de Ponedoras, ya que es en la que más residuos se generan.

(Suárez-Hernández et al., 2018) expresa que cada 24 h una gallina produce entre 120 y 150 g de excretas y esta cantidad depende del tamaño, estado fisiológico del ave, la dieta y la época del año. Esto equivale, aproximadamente, a 12.5 kg de materia seca por gallina y por año.

La acumulación de la gallinaza en la Empresa Avícola Sancti Spíritus se realiza durante todo el período productivo, aproximadamente durante un año, en fosos o nichos, dentro de las propias granjas de crianza. Una vez culminado el tiempo de producción de las aves entonces se traslada toda esa gallinaza hacia lagunas de oxidación pertenecientes a la misma Empresa, aunque estas lagunas no siempre se encuentran en el mismo lugar de la acumulación de los residuos, es decir, hay que transportarlas a otros lugares lejanos.

1.2.2. Características de la Gallinaza.

La gallinaza básicamente está formada por materiales hidrocarbonatos, compuestos nitrogenados y una gran población microbiana. Es la mezcla de heces y orina que se obtiene de la gallina enjaulada o de piso; a esta se une la porción no digerible de alimentos, microorganismos de la biota intestinal, plumas, huevos rotos (Aguilar Genes, 2015). Al igual que cualquier otra materia orgánica, la gallinaza al fermentar, produce gases, de los cuales los más importantes son el metano CH_4 y el dióxido de carbono CO_2 . La gallinaza se diferencia de otros estiércoles, porque posee, un mayor contenido de nutrientes, debido a las altas concentraciones en las raciones que consumen y a la poca agua del estiércol, pero como ocurre con otros materiales, la composición final depende del proceso de deshidratación, adecuado manejo, almacenamiento, cantidad de cama utilizada, entre otros.

Los estiércoles de diferentes animales que son incorporados al suelo aportan nutrientes, incrementa la retención de la humedad y mejora la actividad biológica y, por tanto, la fertilidad y la productividad del suelo. Brechelt (2004) menciona que el análisis de los diferentes abonos según su contenido de nutrientes, los estiércoles ovinos son los más ricos en nutrientes, después sigue la gallinaza, el estiércol equino, bovino y, por último, el estiércol porcino.

La aplicación de la gallinaza directamente al suelo fue un uso tradicional de hace muchos años, pero por problemas ambientales mencionados anteriormente la aplicación es después de un proceso de fermentación. El estudio de este estiércol ha influenciado en la investigación de muchas técnicas para su tratamiento y aprovechamiento de este residuo en un producto beneficioso tales como:

Uso como complemento de las dietas de rumiantes: Numerosos estudios a nivel mundial avalan la ventaja de la gallinaza como complemento en las dietas de rumiantes, tales como aumentar el consumo del heno, la digestibilidad de la materia seca del rastrojo y las concentraciones de nitrógeno amoniacal en el líquido rumial, además mejora la eficiencia de la reproductibilidad de las vacas. Pero también trae problemas asociados a que la gallinaza contiene elevadas cantidades de cobre, este elemento en cantidades elevadas es tóxico ya que se acumula en el hígado del animal y empieza a padecer síntomas de envenenamiento (Y. García et al., 2008). En Cuba no se han realizado estudios sobre este tipo de uso.

Uso como fertilizante orgánico: Por el contenido en materia orgánica, nitrógeno, fosforo y potasio de las gallinazas es recomendaba como abono orgánico o como fuente de materia prima para la elaboración de compost convirtiéndolas en un potencial sustituto de los fertilizantes químicos. También hay que tener consideraciones a la hora de su aplicación porque la gallinaza posee altos contenidos de sales, por lo cual el monitoreo del suelo en cada aplicación que se realice es importante para evitar acumulación; niveles altos afectarán en la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes (Intagri, 2012).

Uso como combustión completa: La gallinaza tiene un contenido calórico neto de 13.5 GJ/tonelada cuya ventaja es el contenido de humedad que le hace un combustible de uso directo (Bansal et al., 2017).

Respecto a la composición de la gallinaza, es una tarea realmente complicada debido a la variabilidad con la que se pueden presentar los residuos de excrementos de animales. En primer lugar influirá el tipo de animal, pero además lo hará el tipo de alimentación del mismo, así como su edad, el clima, etc. Gran parte del nitrógeno,

fósforo y potasio que son ingeridos por los animales estarán presentes en sus residuos (Intagri, 2012).

Los residuos que se generan durante el proceso de crianza y manejo de las aves están compuestos principalmente de materias orgánicas y nutrientes, lo cual los hace potenciales para ser revalorizados por medio de procesos de digestión anaerobia. Según Vega Chaparro et al. (2012) la cantidad de gallinaza está influenciada por factores como la dieta suministrada, edad de las aves, tiempo de acumulación de las excretas y espacio del almacenamiento.

Varnero (2011) indica que los componentes orgánicos en las excretas de aves reportan valores en base seca de 2,84% para los lípidos, 9,56% proteínas, 19,82% lignina y 50,55% celulosa y hemicelulosa.

1.2.3. Principales afectaciones.

Es importante señalar que han sido varios los problemas ambientales observados a consecuencia del mal manejo del estiércol de ave, de los cuales se pueden considerar los siguientes:

- Impacto ambiental en el Agua: el riesgo a la salud y la disminución de la vida acuática es causada por la lixiviación de nitratos y materia orgánica.
- Impacto ambiental en el Suelo: la aplicación de la gallinaza fresca ocasiona la disminución de la capacidad de drenaje, el desarrollo de microorganismos patógenos y la dificultad en la mineralización del nitrógeno.
- Impacto en la Salud humana y animal: Los malos olores por la liberación de amoníaco, esto causa la proliferación de microorganismos patógenos y moscas que son vectores de enfermedades para trabajadores y animales.
- Impacto económico: los costos para solucionar los problemas derivados de la contaminación del suelo y agua, y las enfermedades que afectan a las aves.

1.2.3.1 Contaminación del agua.

Las fuentes de agua disponibles en la naturaleza (superficial y subterránea) son las más susceptibles a la contaminación provocada por los residuos avícolas que no han sido almacenados, tratados y descargados directamente. La gallinaza contiene compuestos asociados al nitrógeno (N), fósforo (P) y carbono (C), que llegan a

depositarse en las aguas cambiando las propiedades físicas y químicas de los recursos hídricos (color, olor, turbidez, sabor) (Y. García et al., 2008).

A su vez, el cambio de estas propiedades da origen a varios problemas ambientales entre los cuales podemos mencionar el incremento en la turbidez del agua, dificultando el paso de la luz solar, lo cual impide el proceso de fotosíntesis y limita la respiración y reproducción de la vida acuática (Romero-Aguilar et al., 2009); la eutrofización deteriora la calidad del agua que es usada por las poblaciones para sus actividades diarias tanto domésticas como ganaderas. Existe también propagación de varias enfermedades causadas por agentes biológicos presentes en este tipo de residuos y que al llegar a los cuerpos de agua infectan a las personas que consumen este líquido contaminado.

1.2.3.2 Contaminación del suelo.

Los problemas de contaminación del suelo se relacionan fundamentalmente con la presencia de las excretas provenientes de los corrales o camas donde reposan las aves y de la aplicación en exceso de esta materia sin estabilización o tratamiento previo como fertilizante en los suelos. Las excretas colocadas en el suelo como fertilizante pueden ocasionar el cambio de las propiedades agronómicas del suelo debido a la presencia de materia orgánica contenida en el fertilizante, además, limita la capacidad de absorción del agua y el intercambio de gases con la atmósfera, debido al taponamiento de los poros del suelo, ocasionando la infertilidad (Y. García et al., 2008).

Los metales que contienen las excretas procedentes de la alimentación o medicación de las aves son micro-contaminantes (arsénico, cobre, cobalto, manganeso, selenio y zinc), y que al ser utilizados como acondicionador de suelos puede provocar bioacumulación afectando a la microbiota del suelo y posteriormente a los productos que serán consumidos por el ser humano además de toxicidad, y lixiviación a las aguas subterráneas (Méndez Sarabia et al., 2016).

1.2.3.3 Contaminación del Aire

Por su parte los residuos sólidos (excretas, vísceras, plumas, restos de huevos, mortalidades de aves, etc.) y líquidos (sangre) provenientes de la industria avícola

contienen compuestos con contenido de azufre, nitrógeno, carbono, material particulado. Durante el almacenamiento o tratamiento incompleto pueden liberarse gracias a sus propiedades volátiles o de presión de vapor dadas por condiciones ambientales favorables (temperatura, aireación, condiciones del suelo, etc.).

La falta de control de las emisiones permite que los compuestos mencionados produzcan molestias en la población debido a los olores desagradables que causa su descomposición, además de convertirse en precursores de algunos trastornos respiratorios en humanos y animales. En un nivel superior estas emisiones contribuyen con la destrucción de la capa de ozono especialmente por la presencia de N_2O producido en la degradación microbiana de los residuos avícolas. De igual forma benefician la formación de compuestos ácidos en la atmósfera causando la lluvia ácida y por ende la acidificación de los (Méndez Sarabia et al., 2016).

El olor desagradable de los residuos avícolas es sin duda uno de los mayores problemas. La gallinaza fresca contiene sulfuro de hidrógeno (H_2S) y otros compuestos orgánicos, que causan perjuicio a quienes habitan cerca de las granjas avícolas. La sensación de suciedad que acompaña a estos vertimientos, así como la aparición de síntomas evidentes de la degradación ambiental en el entorno, son otros factores que afectan la calidad de vida.

Los sistemas de tratamiento de residuales son esenciales en el control de la contaminación ambiental, y cada vez se hace más necesario que su optimización tecnológica sea lo más similar posible a los procesos que ocurren cotidianamente en la naturaleza. Dentro de estos, se encuentran las plantas de biogás, por ser un sistema inocuo, económico y práctico que aporta un gran número de ventajas, donde tiene lugar la digestión anaerobia de la materia orgánica, con lo que se logra la estabilización completa del material residual y a su vez, la obtención de un gas combustible, el biogás (Castro Soto, 2016).

1.3. Fuentes renovables de energía.

El consumo de energía es uno de los grandes medidores del progreso y bienestar de una sociedad. El concepto de crisis energética aparece cuando las fuentes de energía de las cual se abastece la sociedad se agoten. Un modelo económico

mundial como el actual, cuyo funcionamiento depende de un continuo crecimiento, exige también una demanda igualmente creciente de energía. Puesto que las fuentes de energía fósil y nuclear son finitas, es inevitable que en un determinado momento la demanda no pueda ser abastecida y todo el sistema colapse, salvo que se descubran y desarrollen otros nuevos métodos para obtener energía; éstas serían las energías renovables.

Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales (Fundación Wikimedia, 2019).

1.3.1. Ventajas y desventajas.

Las energías renovables nos ofrecen tres ventajas si las comparamos con los combustibles fósiles; como se decía anteriormente son energías virtualmente inagotables, no son contaminantes y poseen facilidad de deslocalización. Según Romero (2005), citado por (Oria Gómez, 2010), cuando se refiere a que son virtualmente inagotables quiere decir que son fuentes de energía cuya durabilidad en el tiempo es suficiente en comparación con la vida de los seres humanos; además se puede producir de forma continua, no consumen recursos finitos y causan menos impactos medioambientales que los combustibles fósiles. Si esto se une al hecho de que la población mundial va en aumento y la tendencia es de consumir cada vez más energía, esto implicaría un mayor impacto negativo para el medio ambiente.

1.3.2. Tipos de energías renovables.

Existen diversas formas de utilizar las energías renovables:

- La energía solar, método que permite utilizar la radiación solar para producir calor o electricidad.
- La energía solar fotovoltaica, procedimiento mediante el cual la energía radiante de la luz solar es convertida en energía eléctrica, mediante el flujo electrónico que se provoca en materiales específicos.

- La energía eólica, que permite utilizar la fuerza del viento para generar electricidad.
- La biomasa como fuente de energía: es una vía de utilización indirecta de la energía solar. Las plantas, mediante el proceso de fotosíntesis, producen biomasa vegetal que puede ser utilizada por combustión, gasificación o biodigestión anaerobia para producir biogás, entre otras, para finalmente generar energía (ya sea térmica, eléctrica, o mecánica), (Romero, 2005).

1.3.2.1 Energía Solar

En solo una hora el Sol suministra más energía a la Tierra que la que se consume en un año en todo el mundo. Se puede encontrar en 2 tipos la energía solar fotovoltaica y la energía solar térmica. En la fotovoltaica la luz solar se puede convertir en electricidad directamente y en la solar térmica se transforman los rayos solares en calor.

1.3.2.2 Energía Eólica

Los desarrollos tecnológicos de esta fuente renovable de energía a gran escala se encuentran en los parques eólicos terrestres (on-shore) y en los marítimos o costa afuera (off-shore). Destacar que los parques que se encuentran en las zonas marítimas tienen mayor ventaja debido a la fortaleza de los vientos en mar afuera.

1.3.2.3 Energía Hidráulica

Es aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente del agua, saltos de agua o mareas. La energía hidráulica, o hidroenergía, es la tecnología más antigua empleada para la producción de electricidad. Una quinta parte de la electricidad producida en el mundo proviene de ella.

1.3.2.4 Energía Geotérmica

Es la energía que puede obtenerse mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra.

1.3.2.5 Energía Oceánica

Se refiere a la energía renovable transportada por las olas del mar, las mareas, la salinidad y las diferencias de temperatura del océano.

1.3.2.6 Biomasa

La biomasa está compuesta por residuos biodegradables y a partir del procesamiento de la biomasa se obtiene el Biogás. De acuerdo a su contenido de humedad puede utilizarse en diferentes procesos para su conversión en energía. En este sentido, se recomiendan los procesos bioquímicos (digestión aeróbica o anaeróbica) cuando la humedad es superior al 60%. Sin embargo, existen experiencias con el uso de otros sustratos con un contenido de humedad inferior, los cuales pueden utilizarse con algún tipo de pretratamiento que aumente su biodegradabilidad (Fernández, 1999).

Los excrementos de gallina producidos en las empresas avícolas del país y en la provincia de Sancti Spíritus, son una fuente abundante de biomasa, donde todo está siendo desechado y desaprovechándose así el potencial energético; además el tratamiento que se aplica a la excreta sin usar, no garantiza la máxima reducción del impacto ambiental generado por esta fuente sin tratar.

1.4. Digestión Anaerobia.

En esencia la Digestión Anaerobia es un proceso mediante el cual la materia orgánica, en ausencia de oxígeno y por medio de bacterias específicas, se degrada en una serie de productos gaseosos (biogás) y otros productos con alta concentración de minerales (n, p, k, ca). Puede ser utilizado como un método para recuperar energía y nutrientes contenidos en la fracción biodegradable de la materia orgánica. La biomasa utilizada para la producción de biogás se conoce con el nombre de sustrato orgánico. El proceso está mediado por la acción de un grupo de bacterias específicas, que en ausencia de oxígeno, transforman la materia orgánica en una mezcla de gases, fundamentalmente metano y CO₂.

La degradación anaeróbica de la materia orgánica según (Sánchez Rivero, 2009) es un proceso que ocurre en forma espontánea en la naturaleza y forma parte de los ciclos biológicos de los elementos químicos en la biosfera. Producto a esa actividad

de naturaleza microbiana se forma el denominado "gas de los pantanos" que brota en aguas estancadas, ciénagas y pantanos; el gas natural (metano) de los yacimientos petrolíferos, así como el gas producido en el tracto digestivo de los rumiantes. En todos estos procesos intervienen las denominadas bacterias metanogénicas.

1.4.1. Principales etapas de la Digestión Anaerobia.

El proceso de Digestión Anaerobia se lleva a cabo de forma satisfactoria cuando existen condiciones específicas. Este proceso está compuesto por cuatro etapas diferenciadas, según el proceso de degradación, estas son:

1.4.1.1 La etapa hidrolítica.

Es el primer paso en el proceso de la digestión anaerobia, donde materiales orgánicos complejos son adicionados y convertidos por enzimas extracelulares de manera biológica o por procesos fisicoquímicos, a material soluble; y materia orgánica biodegradable, estableciendo un paso para su bioconversión bajo condiciones anaerobias (Sürmeli, Bayrakdar, & Çalli, 2017).

1.4.1.2 La etapa fermentativa o acidogénica.

Consiste en la fermentación de productos solubles de la hidrólisis, donde se obtiene ácido láctico, etanol, ácido propiónico y ácido butírico, entre otros, cuyas concentraciones varían en función del consumo de H₂. Cuando el H₂ es eliminado de forma eficiente, las bacterias fermentativas no producen compuestos reducidos como el etanol, que favorece la producción de H₂ y ATP. La actividad de algunas bacterias fermentativas y acetogénicas se favorece a valores bajos de presión parcial de H₂ (Stams *et al.*, 2003 Pavlostathis, 1991) citado por (Sosa Delgado, 2015).

1.4.1.3 La etapa acetogénica.

En la acetogénesis se presentan la degradación de alcoholes, ácidos grasos y compuestos aromáticos obtenidos de la fermentación mediante la hidrogenación acetogénica o la deshidrogenación acetogénica, produciendo ácido acético, CO₂ y H₂. En el proceso de la deshidrogenación acetogénica, se lleva a cabo la oxidación anaerobia de moléculas grandes y pequeñas de ácidos grasos (Cendales Ladino,

2011). En esta etapa es obligatoria la producción de hidrógeno por las bacterias que realizan la oxidación anaerobia de los ácidos grasos (Campos Pozuelo, 2001).

1.4.1.4 La etapa metanogénica.

Constituye la etapa final del proceso, en el que compuestos como el ácido acético hidrogeno y dióxido de carbono son transformados a CH₄ y CO₂. Se distinguen dos tipos principales de microorganismos, los que degradan el ácido acético y los que consumen hidrogeno; la principal vía de formación del metano es la primera, con alrededor del 70% del metano producido, de forma general. Esta etapa es muy sensible a los cambios de pH, por lo general se lleva a cabo en un ambiente neutro o levemente alcalino (Sosa Delgado, 2015).

1.4.2. Productos obtenidos en la Digestión Anaerobia.

Efluente: Es la mezcla del influente estabilizado y la biomasa microbiana producida. Este es separado en su fase solida conocida como "biosol" y su fase líquida como "biol". De este efluente el 90% corresponde al biol y el 10% al biosol (Carhuancho León, 2012). El biosol, es el bioabono sólido, que se emplea como abono orgánico enriquecido como estimulante de crecimiento radicular y parte área de la planta. El biol que es la parte líquida, es utilizado como abono.

Biogás: Se llama biogás a la mezcla constituida por metano (CH₄) en una proporción que oscila entre un 40% a un 70% y dióxido de carbono conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno. El biogás puede ser utilizado en cualquier tipo de equipo comercial para uso de gas natural (Amado Gonzalez & Prada Luna, 2007).

1.4.2.1. Beneficios del biogás.

Protección medioambiental: La producción y uso de biogás a partir de la gallinaza tratada anaerobiamente conlleva a un doble efecto climático: evitar la emisión descontrolada de metano y evitar el aumento de concentración de CO₂ en la atmósfera producido por el uso de combustibles fósiles.

En este sentido, al realizar un almacenamiento hermético de este residuo, se reduce la emisión de óxido nitroso, se mejora la absorción de nitrógeno realizada por los

cultivos al aplicar el digestato como abono y se reduce también la emisión de amoníaco a la atmósfera.

Beneficios económicos: El biogás producido tiene un valor comercial como combustible, el cual se puede utilizar para la generación de energía eléctrica mediante su contenido energético y para sustituir combustibles fósiles, ahorrando dinero al país. También se puede utilizar para la generación de calor, algo que ayudaría al desarrollo de la avicultura, pues se podría utilizar en la calefacción de pollitos.

Beneficios sociales: Los proyectos de biogás, al ser sistemas descentralizados de producción de energía eléctrica y calórica, acarrearán beneficios sociales tanto para los productores, como para la zona donde se encuentren los proyectos. La energía producida genera un abanico de potenciales, nuevos procesos productivos en la zona, como por ejemplo, dar valor agregado a algún producto regional, siendo esta posibilidad una nueva fuente de trabajo.

Otro beneficio social de la tecnología de digestión anaerobia es la posibilidad que tendría la Empresa Avícola de transformar su sistema productivo a uno de producción limpia, con lo cual se genera un bienestar común para toda la zona implicada.

1.4.2.2. Usos del biogás

El biogás puede ser utilizado como combustible para motores diésel y gasolina, a partir de los cuales se puede producir energía eléctrica por medio de un generador. En el caso de los motores diésel, el biogás puede reemplazar hasta el 80% del aceite combustible (Hernández et al., 2011).

Un metro cúbico de biogás totalmente combustionado es suficiente para: generar 6 horas de luz equivalente a un bombillo de 60 watt, poner a funcionar un refrigerador de 1 m³ de capacidad durante una hora, o hacer funcionar una incubadora de 1 m³ de capacidad 30 minutos o hacer funcionar un motor de 1 HP durante 2 horas, Hesse (1983) citado por (Barrera, 2007).

A pesar de las aplicaciones que tiene el biogás, es importante considerar que contiene una serie de impurezas y es importante que sea purificado o limpiado previamente dependiendo del uso final.

1.5. Potencial energético

Es primordial en esta investigación evaluar el potencial energético de la gallinaza, como uno de los principales residuos en los sistemas avícolas. La utilización de los recursos de alto poder calorífico, que contienen los residuos, se convierte en una excelente oportunidad de revalorización de los mismos.

Para el aprovechamiento energético, es importante obtener información cualitativa y cuantitativa acerca de la generación de estos residuos en la provincia de Sancti Spíritus, y su disposición final.

La estimación del potencial energético se considera como el valor de la producción energética vía biogás que se obtiene mediante una descomposición parcial del residuo orgánico utilizado.

La producción de biogás comienza seleccionando una fuente adecuada de biomasa, la cual es la materia prima que va a sufrir un proceso de descomposición de forma anaeróbica para posteriormente producir biogás.

1.5.1. Estudios sobre potencial energético.

Durante el desarrollo de esta investigación se encontraron un gran número de trabajos y publicaciones sobre el uso y desarrollo de las energías renovables, específicamente del uso de la biomasa como fuente alternativa para la generación de energía, dentro de ello se encontraron trabajos encaminados a la determinación del potencial energético de la biomasa:

Espinosa (1986) citado por Roche Salazar (2014) propone conocer el potencial energético con un proyecto de solución basada en el “arrastre hídrico” de la gallinaza a partir de revestir los fosos de las naves avícolas con espesores pequeños de hormigón pulido y sistemas exteriores de recolección para su conducción a digestores y posterior tratamiento, pero en la actualidad la dirección del Grupo

Empresarial Ganadero ha rehusado establecer aunque sea de forma experimental este sistema alegando “que las gallinas se estresan con el agua de las mangueras”.

Field (1987) facilita un procedimiento de medición estimada de la concentración de metano en el biogás, utilizando el principio de la “Botella de Mariotte”.

Castillo, Cristancho, & Arellano (2003) realiza un estudio de las condiciones de operación para la digestión anaerobia de residuos sólidos urbanos, donde expone los resultados del potencial y de la producción de metano con diferentes tiempos de retención hidráulica, utilizando mini-biodigestores en los ensayos de varias mezclas de la biomasa tratada.

Oria Gómez (2007) estima el potencial real de residuos disponibles en el sector cooperativo y campesino que es bien representativo en la producción de residuos que pueden ser utilizados para producir biogás a gran escala.

Chen, Cheng, & Creamer (2007) identifica los mecanismos y factores para controlar la inhibición mediante la incorporación de métodos para quitar o neutralizar toxinas antes de la digestión anaerobia, mejorando así la pérdida significativa y la eficacia de la producción de biogás.

Callejo et al (2008) determinó el potencial energético de la biomasa residual agrícola y ganadera en España. Basó su estudio en herramientas que proporcionan los Sistemas de Información Geográfica, esto le permitió desarrollar mapas con representación de los parámetros estudiados.

Villanueva (2008) desarrolla un proyecto de producción de biogás para uso en el hogar, a partir de los residuales de la alimentación y estiércol de la cunicultura con una preparación previa de la mezcla seleccionada y ponderada, donde se da tratamiento al secado solar y humectación al material antes de someterlo al proceso de codigestión anaerobia.

Ribeiro Salomon & Silva Lora (2009) calcula el potencial de electricidad en residuos de la caña de azúcar, sólidos urbanos y estiércoles de bovino y cerdo en Brasil.

Regalado Yépez (2009) realiza un estudio de la generación de biogás y fertilizante orgánico utilizando desechos orgánicos y lodos estabilizados, obteniendo rendimientos acumulados de biogás hasta 81 l/kg.

Nzila et al. (2010) estiman el potencial de energía en Kenya mediante el metano producido por 5 tipos de residuos, maíz, cebada, algodón, té y la caña de azúcar.

López Gonzalez (2016) refleja la estimación teórica del potencial de energía proveniente de aplicar variantes de pre-tratamiento y codigestión con vinazas en el proceso de digestión anaerobia de la cachaza.

Jimenez Borges et al. (2017) propone una metodología a utilizar para calcular las potencialidades de los residuos por fuente de biomasa cañera, cafetalera, arrocería, utilizando informaciones aportadas de empresas de la provincia de Cienfuegos.

Jímenez Rodríguez et al. (2017) estiman que se pueden generar diariamente grandes cantidades de biogás a partir de la digestión anaerobia de los excrementos del ganado vacuno y porcino por sus características fisicoquímicas en el municipio de Manzanillo a través de la digestión anaerobia.

(Suárez-Hernández et al., 2018) plantean la cantidad de energía que se puede obtener a través del uso de las excretas de aves, porcinos, vacunas y restos de cosechas, pero con índices de producción encontrados en bibliografías.

Estos estudios antes mencionados fueron realizados con la ayuda de materiales bibliográficos, utilizando datos sobre la cantidad de energía que se puede producir en dependencia de las características fisicoquímicas de los sustratos. En la presente investigación se analizará el sustrato objeto de estudio en los laboratorios, se podrá determinar sus características y se podrá estimar así la cantidad de energía que se puede producir con esta biomasa.

1.5.2. Limitaciones.

Los estudios antes mencionados, tanto en Cuba como en el resto del mundo, hacen referencia a métodos, técnicas y herramientas utilizadas para la determinación del potencial energético de diferentes residuos. En la actualidad, no existen estudios en la provincia de Sancti Spíritus que brinden información para determinar la estimación del potencial energético de los diferentes residuos avícolas. Tampoco existe documentación sobre el aprovechamiento de la gallinaza como un posible potencial para la producción de biogás ni de la reducción del impacto negativo que provocan al medio ambiente.

En la presente investigación se estimará el potencial energético de los residuos avícolas, determinando las características principales del sustrato a partir de técnicas analíticas de cuantificación y así poder obtener el valor de la producción energética vía biogás mediante la descomposición parcial del residuo orgánico.

1.6. Conclusiones parciales del capítulo.

- Las fuentes renovables constituyen un gran paso de avance en la protección y conservación del medio ambiente.
- La gestión eficiente de residuos avícolas podría minimizar la contaminación ambiental, recicla o reutiliza los desechos y conlleva a un efecto económico, social y ambiental considerable.
- Aunque la digestión anaerobia de los residuos avícolas resulta una alternativa viable para la obtención de biogás, no se reportan sus potencialidades en la provincia de Sancti Spíritus, partiendo de las características específicas de los mismos.

CAPÍTULO 2: CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS AVÍCOLAS.

2.1. Introducción

En este capítulo se exponen las técnicas y herramientas utilizadas para dar cumplimiento a los objetivos trazados en la presente investigación. Para ello se llevaron a cabo 3 etapas.

- Etapa I: Caracterización de los residuos avícolas.
- Etapa II: Estimación del potencial energético de los residuos avícolas.
- Etapa III: Elaboración del plan de acciones para minimizar la acumulación de residuales.

2.2. Etapa I: Caracterización de los residuos avícolas

2.2.1 Cantidad de residuos avícolas.

En la actividad avícola se generan diferentes residuos no orgánicos como pueden ser: cartón, vidrio, materiales plásticos, bolsas, papel u otros similares. Otros residuos que se pueden encontrar y además se pueden considerar residuos peligrosos, serían los que provienen de fármacos y de procesos de vacunación, estos pueden ser: empaques, recipientes, insumos vencidos o dañados. Esta actividad produce también aguas residuales como resultado de las operaciones de sacrificio y lavado de las aves. Las cantidades de estos residuos se estimaron a partir de las hojas estadísticas de la Empresa Avícola de la provincia de Sancti Spíritus (SANTICAN).

2.2.1.1 Principios y características del diagrama de Pareto.

El principio de Pareto se basa en que el 80% de los problemas son provenientes de apenas el 20% de las causas, según Pareto, (Sales, 2009). Este principio se utilizó en la presente investigación con el objetivo de estratificar las toneladas de residuos por tipo y fundamentar cuales son los que deben estudiarse para atenuar los problemas ambientales asociados a su vertimiento.

A continuación, se comentan una serie de características que ayudan a comprender la naturaleza de la herramienta.

Priorización: Identifica los elementos que más peso o importancia tienen dentro de un grupo.

Unificación de criterios: Enfoca y dirige el esfuerzo de los componentes del grupo de trabajo hacia un objetivo prioritario común.

Carácter objetivo: Su utilización, fuerza al grupo de trabajo a tomar decisiones basadas en datos y hechos objetivos y no en ideas subjetivas.

Aquí se comentan una serie de características fundamentales de las tablas y los diagrama de Pareto, como son:

Simplicidad: Tanto la tabla como el diagrama de Pareto no requieren de cálculos complejos ni técnicas sofisticadas de representación gráfica.

Impacto Visual: El diagrama de Pareto comunica de forma clara, evidente y de un “vistazo”, el resultado del análisis de comparación y priorización.

Los **pasos** para realizar este **diagrama de Pareto** según (Sales, 2009) son:

Paso 1. Determinar el problema o efecto a estudiar.

Paso 2. Investigar los factores o causas que provocan ese problema y como recoger los datos referentes a ellos.

Paso 3. Anotar la magnitud (por ejemplo: euros, número de defectos, etc.) de cada factor. En el caso de factores cuya magnitud es muy pequeña comparada con la de los otros factores incluirlos dentro de la categoría “Otros”.

Paso 4. Ordenar los factores de mayor a menor en función de la magnitud de cada uno.

Paso 5. Calcular la magnitud total del conjunto de factores.

Paso 6. Calcular el porcentaje total que representa cada factor, así como el porcentaje acumulado.

Paso 7. Dibujar dos ejes verticales y un eje horizontal. Situar en el eje vertical izquierdo la magnitud de cada factor. La escala del eje está comprendida entre cero y la magnitud total de los factores. En el derecho se representan el porcentaje acumulado de los factores, por tanto, la escala es de cero a 100. El punto que representa a 100 en el eje derecho está alineado con el que muestra la magnitud

total de los factores detectados en el eje izquierdo. Por último, el eje horizontal muestra los factores empezando por el de mayor importancia.

Paso 8. Se trazan las barras correspondientes a cada factor. La altura de cada barra representa su magnitud por medio del eje vertical izquierdo.

Paso 9. Se representa el gráfico lineal que representa el porcentaje acumulado calculado anteriormente. Este gráfico se rige por el eje vertical derecho.

Paso 10. Escribir junto al diagrama cualquier información necesaria, sea sobre el diagrama o sobre los datos.

2.2.2. Recolección de la Gallinaza

La Empresa Avícola de la provincia de Sancti Spíritus (SANTICAN), cuenta con un total de 11 Unidades Empresariales de Base, de ellas 4 son Granjas Ponedoras, 2 son Granjas de Reemplazo de Ponedoras y las restantes son unidades de apoyo (aseguramiento, transporte, comercializadora, matadero y servicios internos). Se trabajó con las granjas de ponedoras y de reemplazo (tabla 2.1).

Tabla 2.1 Unidades Empresariales de Base productivas y sus propósitos.

UEB	Propósito
La Botella	Ponedoras
Vega Grande	Ponedoras
Hermanos Santos	Ponedoras
Guasimal	Ponedoras
Reemplazo Jatibonico	Reemplazo
Reemplazo Cabaiguan	Reemplazo

Fuente: Elaboración propia.

Basado en elementos técnicos, como la similitud en el manejo, en el tipo de alimentación-nutrición, y en las condiciones ambientales, se asumió que las muestras de una de las granjas de cada tipo, son representativas de cada propósito (Ponedora o Reemplazo) y que entre ellas solo varía la capacidad máxima de animales que puede almacenar y la cantidad de aves que tenían en el momento de la toma de las muestras. Por tanto, para el desarrollo de esta investigación se seleccionaron la UEB

La Botella como representación de las granjas ponedoras y la UEB Reemplazo Jatibonico como representación de las granjas de reemplazo de ponedoras.

2.2.2.1. Descripción de la UEB La Botella.

La UEB La Botella se encuentra ubicada en la Carretera Central km 384 con coordenadas 21°54'40.7 latitud norte y 79°22'15.0 longitud oeste ver Figura 2.1.

La granja, con propósito de gallinas ponedoras cuenta con un promedio de 85066 aves en el año 2018, distribuidas en 2 lotes y repartidas en 16 naves. Estas permanecen hasta alcanzar las 60 semanas de edad donde posterior a ello son decrepitadas para su comercialización. Posee esta granja un bajo índice de mortalidad.



Figura 2.1. Mapa de ubicación de la UEB La Botella
Fuente: Google Maps (2019).

La toma de la muestra se realizó aplicando la técnica de cuarteo para así poder tener una muestra representativa ver Figura 2.2, de los 20 kg almacenados en los nichos durante 148 días, se tomaron para los análisis del residuo 4 kg de las naves 1, 8, 14. La misma se almacenó en recipientes plásticos, cerrados y correctamente identificados para luego ser transportada para los laboratorios de la Universidad José Martí Pérez, donde se le realizaran inmediatamente los análisis correspondientes.

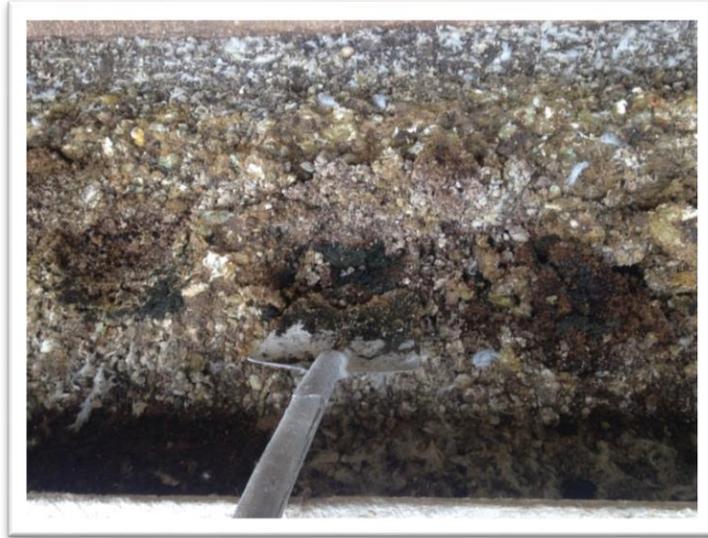


Figura 2.2. Muestra de la gallinaza en la UEB Ponedora. **Fuente:** Elaboración propia.

2.2.2.2. Descripción de la UEB Reemplazo Jatibonico.

La UEB Reemplazo Jatibonico se encuentra ubicada en la Carretera de la Yaya, municipio de Jatibonico, con coordenadas 21°54'03.6 latitud norte y 79°10'16.1 longitud oeste ver Figura 2.3.



Figura 2.3. Mapa de ubicación de la granja Reemplazo Jatibonico. **Fuente:** Google Maps (2019).

La granja cuenta con un total de 81497 aves promedio durante el año 2018, todas distribuidas en 2 lotes y repartidas en 14 naves. Estas permanecen hasta alcanzar las 16 semanas de edad donde posterior a ello son enviadas para las Unidades Empresariales de Base con propósito de Ponedoras para comenzar su ciclo productivo.



Figura 2.4. Muestra de la gallinaza en la UEB Reemplazo. **Fuente:** Elaboración propia.

La toma de muestras se realizó en las naves 5, 8, 11, con un total de 112 días de almacenamiento (Figura 2.4), seleccionando un total de 40 kg del residuo. Se almacenó en una bolsa de polietileno correctamente cerrada e identificada y fue transportada para los laboratorios de la Universidad José Martí Pérez, donde se le realizaron inmediatamente los análisis correspondientes.

2.2.3 Caracterización de la gallinaza.

Para la realización de esta investigación fue necesario utilizar algunos materiales. Guantes resistentes al calor, cápsulas de evaporación de porcelana, platino, níquel o sílice, pipetas volumétricas, probetas (25 mL, 50 mL, 100 mL), pinzas para crisol (de aproximadamente 50 cm de largo), agitador, matraz kitazato, crisol Gooch, cápsulas de evaporación de porcelana, balones Kjeldahl. (100 mL), matraces aforados (100 mL, 1000 mL), erlenmeyer (250 mL), beacker (500 mL)

En el transcurso de la investigación se utilizaron equipos para los análisis en el laboratorio y el procesamiento de los residuos, estos son: Estufa eléctrica a temperatura de 105°C, equipada con termostato; desecadora, balanza analítica, mufla, y destilador (equipo Vapodest).

2.2.3.1 Medición de los parámetros fisicoquímicos.

El análisis de los parámetros fisicoquímicos: pH, sólidos totales, sólidos volátiles, y nitrógeno amoniacal, fueron realizados en el Laboratorio de biogás del CEEPI, en la Universidad de Sancti Spíritus "José Martí Pérez". A continuación se presentan en el siguiente cuadro los métodos de análisis empleados para cada parámetro evaluado.

En la **Tabla 2.2** se muestran los métodos de análisis y los equipos utilizados para la medición de los parámetros fisicoquímicos de las muestras.

Parámetro Evaluado	Método de Análisis	Equipos
Sólidos totales	APHA 2540-B	Estufa (105°C)
Sólidos volátiles	APHA 2540-B	Mufla (550°C)
pH	Potenciometría	pHmetro
Nitrógeno amoniacal	Kjeldhal	Vapodest

Fuente: Elaboración propia.

Sólidos totales

Los sólidos totales son toda la materia orgánica e inorgánica que queda como residuo después de la evaporación del agua a 105 °C. La metodología utilizada para la determinación de sólidos totales, está basado en los métodos normalizados (Apha, 2012).

Fundamento: Se evapora a sequedad una cierta cantidad de muestra en un recipiente, previamente tarado llevándose a peso constante en estufa a 105°C. El residuo total, que incluye, tanto los sólidos disueltos como los que están en suspensión, se calcula a partir del incremento en peso de la del recipiente con respecto a su peso inicial.

Procedimiento: Se sacan las cápsulas de la desecadora y se taran en la balanza analítica, anotándose los resultados (pc). Después se pesa en la cápsula una muestra fresca (2-5 g) anotamos el peso ($P_{t_{inicial}}$) y ponemos la cápsula con la muestra en la estufa a 110°C por espacio de 24 horas (durante toda la noche). Se deja enfriar la capsula en la desecadora hasta temperatura ambiente por espacio de 1 hora aproximadamente. Para concluir se procede a pesar la cápsula con la muestra seca y anotar el valor ($P_{t_{final}}$).

Cálculos

El cálculo para los sólidos totales se muestra en la siguiente ecuación.

$\% ST = (\text{peso de la muestra seca}/\text{pesa de la muestra fresca}) \times 100.$

$$\% ST = (P_{t_{final}} - P_c) / (P_{t_{inicial}} - P_c) \times 100 \quad (1)$$

Dónde:

P_c : peso cápsula

$P_{t_{inicial}}$: peso cápsula + peso muestra fresca

$P_{t_{final}}$: peso cápsula + peso muestra seca

Sólidos volátiles

Los sólidos volátiles son la materia, generalmente orgánica, que pueden separarse de una muestra por calcinación a 550°C y dejan residuos sólidos inorgánicos no volátiles (cenizas). La metodología utilizada para la determinación de sólidos totales, está basado en los métodos normalizados (Apha, 2012).

Debido a que los sólidos están compuestos por materiales orgánicos e inorgánicos, es conveniente diferenciarlos y para ellos se determinan los “sólidos volátiles” (los cuales incluyen el material orgánico) y los “sólidos fijos” (los cuales incluyen las sales inorgánicas no volátiles).

Se determinan tomando la cápsula de porcelana que contiene los sólidos totales después de pesados y llevándola a una mufla a 550°C.

Procedimiento:

1. Una vez pesada la cápsula de porcelana con el residuo seco de la muestra, se coloca en la mufla.
2. Encender la mufla y verificar que la temperatura aumenta gradualmente hasta 550°C.
3. Mantener la muestra a 550°C por espacio de 4 horas.
4. Enfriar la cápsula en la desecadora hasta temperatura ambiente, aprox. 2 horas.
5. Pesar la cápsula con la muestra seca a 550°C y anotar el valor ($pt_{\text{final-550C}}$)

Cálculos

$\% \text{ SV} = \frac{[(\text{pesa muestra seca a } 110^\circ\text{C} - \text{peso muestra seca en mufla a } 550^\circ\text{C}) / \text{peso muestra seca a } 110^\circ\text{C}] \times 100$

$$\% \text{ SV} = \frac{(pt_{\text{final-110}^\circ\text{C-pc}} - (pt_{\text{final-550}^\circ\text{C-pc}}) / (pt_{\text{final-110}^\circ\text{C-pc}})] \times 100 \quad (2)$$

Nitrógeno amoniacal.

Procedimiento: Encender el equipo de destilación (Vapodest) y abrir la llave de agua. Verificar que los frascos de reactivos (NaOH (3L) y H₂O destilada (5L)) tengan el volumen requerido de reactivos para comenzar el análisis. Pipetear 40 ml de agua destilada en el tubo para análisis y ponerlo en el equipo. Ajustar en el equipo los siguientes parámetros: Time (tiempo) en 4 minutos, Steam (vapor) en 10, Reagent (reactivo) en 2.5 equivale a 40 ml. Poner en el equipo (Vapodest) un Erlenmeyer en la posición donde se recogerá el destilado, cuando aparezca la Luz verde en el indicador (Ready), presionar la tecla Run.

La primera corrida en el equipo (Vapodest) se realiza siempre con agua destilada para limpiar el equipo, la segunda corrida se realiza con un blanco (solución de NaOH 32%).

Poner el tubo para análisis con 40 ml H₂O destilada en el equipo. Presionar la tecla Reagent y el equipo automáticamente deposita 40 ml de la solución de NaOH (=reagent) en el tubo de análisis. Poner en el equipo (Vapodest) un Erlenmeyer con 20mL del indicador Tashiro en la posición donde se recogerá el destilado.

Hacer una valoración del destilado recogido en el Erlenmeyer con una solución de H₂SO₄ (0,01N) hasta que el color regrese al inicial del indicador (rojo o rojo violáceo).

Análisis de la muestra. Poner 5 g de muestra en el tubo de análisis. Presionar la tecla Reagent y el equipo automáticamente deposita 40 ml de la solución de NaOH (=reagent) en el tubo de análisis. Poner en el equipo (Vapodest) un Erlenmeyer con 20mL del indicador Tashiro en la posición donde se recogerá el destilado.

Hacer una valoración del destilado recogido en el Erlenmeyer con una solución de H₂SO₄ (0,01N) hasta que el color regrese al inicial del indicador (rojo o rojo violáceo).

Cálculos

La estimación del contenido de nitrógeno total del suelo, se obtendrá mediante la Ecuación (1):

$$NH_4 - N / muestra = \frac{[(A-B)*N*14]}{PM} \quad (3)$$

Donde:

A: es el volumen consumido en la valoración de la muestra en ml.

B: es el volumen consumido en la valoración del blanco en ml.

N: es la normalidad de H₂SO₄ 0,01N.

14: peso molar de N = 14 g/mol.

PM: es el peso de la muestra de suelo en g o kg (gramos o kilogramos).

pH

Para determinar el pH se realizará a través del pHmetro PHSJ-3F. La determinación se realiza directamente sobre la muestra. Primero se prepara una solución acuosa que consiste en la dilución muestra-agua, siendo la relación de 1: 10 respectivamente. Posterior a eso se verifica que el equipo este calibrado según las instrucciones del fabricante, luego se introduce el electrodo de vidrio y el de temperatura en las muestras que se analizaron, dejando que se estabilice, realizando por triplicado la medición cada 3 minutos.

2.3 Etapa II: Estimación del potencial energético de los residuos avícolas

2.3.1 Potencial energético de la gallinaza.

Para la estimación de la cantidad de gallinaza generada se tuvieron en cuenta los siguientes índices:

- Cada gallina Ponedora produce entre 0,12 y 0,15 kg de excretas al día, según Saucedo Nardo & Antúnez Morales (2017).
- Cada gallina de Reemplazo produce entre 0,05 y 0,08 kg de excreta al día, según Saucedo Nardo & Antúnez Morales (2017).

Para la estimación del potencial de biogás de la gallinaza se tuvieron en cuenta los siguientes índices:

- Cada kg de sólidos volátiles de la gallinaza genera 0,3111 m³ de biogás, según Olaya (2006), utilizando los valores de sólidos volátiles previamente determinado en el Laboratorio del CEEPI.
- Se determinaron los potenciales máximos y mínimos que podrían generarse combinado para el valor máximo, las cantidades máximas de excretas generadas y los valores máximos de sólidos volátiles determinados; y viceversa para el caso de los potenciales mínimos
- Se utilizaron, con fines comparativos, los índices de 0,06 m³ de biogás por kg de gallinaza (obviando la concentración de sólidos volátiles en el sustrato) reportados en estudios recientes de Suárez-Hernández et al. (2018), para la determinación del potencial de residuos de Cuba.

Para la estimación del potencial energético de la gallinaza se consideró que 1 m³ de biogás puede generar 2.32 kWh de energía eléctrica y 3.23 kWh de energía térmica (Barrera, 2007). A partir de estos indicadores, se obtuvo el potencial de biogás y energético que podría generarse desde la digestión anaerobia de la gallinaza en la Empresa Avícola Sancti Spíritus.

2.4 Etapa III: Elaboración del plan de acciones para minimizar la acumulación de residuales

2.4.1 Elaboración del plan de acciones

Un plan de acción es una presentación resumida de las tareas que deben realizarse por ciertas personas, para contribuir al aprovechamiento de los residuos avícolas en la producción de biogás. Para su elaboración se asignó un responsable que supervise y ejecute los planes de acción marcados en los plazos previstos, utilizando un monto de recursos asignados con el fin de lograr un objetivo dado.

Todo plan de acciones debe contener tareas a realizar de forma inmediata para el caso que se produzcan desviaciones de los objetivos propuestos durante su periodo de vigencia. En este epígrafe se definieron que acciones concretas se deben tomar para mitigar las causas que provocaron el efecto.

En este Plan de Acción vienen detallados los siguientes aspectos, ver Anexo 1.

2.4.1.1 Diagrama de Causa y Efecto.

El Diagrama de Causa-Efecto o Ishikawa se utilizó para identificar los problemas ambientales que causan el mal manejo de los residuos avícolas y el tratamiento que se le realiza en la actualidad. La naturaleza gráfica del diagrama permitió organizar gran cantidad de información sobre el problema y determinar exactamente las posibles causas. Su realización se llevó a cabo mediante los siguientes pasos según (Watson, 2004).

Identificar el problema: el problema (el efecto que generalmente está en la forma de una característica de calidad) es algo que queremos mejorar o controlar.

Registrar la frase que resume el problema: escribir el problema identificado en la parte extrema derecha del papel y dejar espacio para el resto del diagrama hacia la izquierda. Dibujar una caja alrededor de la frase que identifica el problema (algo que se denomina algunas veces como la cabeza del pescado).

Dibujar y marcar las espinas principales: las espinas principales representan el input principal/ categorías de recursos o factores causales. No existen reglas sobre que categorías o causas se deben utilizar.

Dibujar una caja alrededor de cada título: el título de un grupo para su Diagrama de Causa y Efecto puede ser diferente a los títulos tradicionales; esta flexibilidad es apropiada y se invita a considerarla.

Realizar una lluvia de ideas de las causas del problema: este es el paso más importante en la construcción de un Diagrama de Causa y Efecto. Las ideas generadas en este paso guiarán la selección de las causas de raíz. La misma se llevó a cabo durante el diagnóstico de recorrido de manera que ambas técnicas sirvieron de base para la determinación de las causas. Fue importante que solamente causas y no soluciones del problema fueran identificadas. El propósito de la herramienta fue siempre estimular ideas.

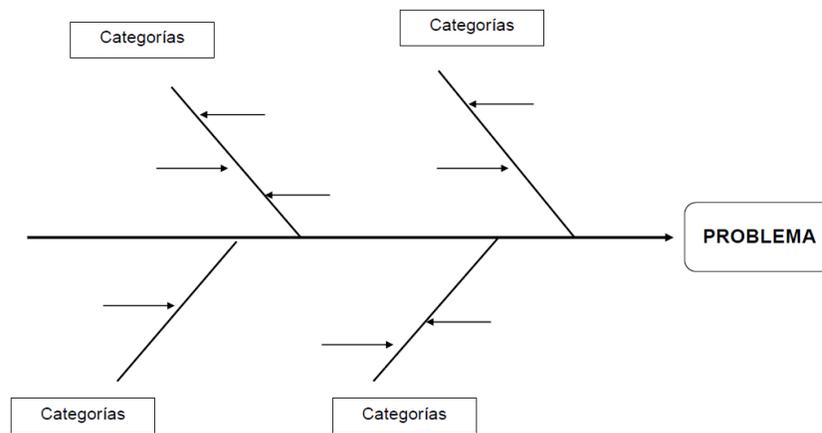


Figura 2.3. Diagrama de Causa-Efecto o Ishikawa.

Fuente: Elaboración propia.

Partiendo de este diagrama, se confeccionó un plan de acciones concretas con las mejores variantes de solución, dirigido a atenuar las causas del problema identificado. La actuación se dirigió hacia las variables del proceso sobre las cuales existió capacidad de actuación.

De esta forma se han descrito los materiales más importantes y los métodos desarrollados durante el período evaluativo correspondiente a esta tesis. Los resultados obtenidos y su discusión se muestran en el siguiente capítulo.

2.5 Conclusiones parciales del capítulo.

- Se diseñaron tres etapas para dar cumplimiento a los objetivos trazados, Etapa I: Caracterización de los residuos avícolas, Etapa II: Estimación del potencial energético de los residuos avícolas, y Etapa III: Elaboración del plan de acciones para minimizar la acumulación de residuales.
- Se fundamentaron metodológicamente cada una de las etapas, teniendo en cuenta fundamentalmente, el uso de las herramientas de la ingeniería industrial, la descripción de las técnicas analíticas de cuantificación para la caracterización fisicoquímica del sustrato objeto de estudio, y los índices y supuestos de la investigación.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

3.1. Introducción.

En este capítulo se exponen los resultados alcanzados en esta investigación.

3.2. Etapa I: Caracterización de los residuos avícolas

3.2.1 Descripción de la Empresa Avícola Sancti Spíritus.

La Empresa Avícola Sancti Spíritus, líder de su tipo en la región central del país, tiene como misión producir y comercializar con eficiencia huevos, carne de aves y otros productos agropecuarios en función de satisfacer las necesidades del consumo de acuerdo a la política estatal definida para la avicultura. Cuenta con 13 Unidades Empresariales de Base, 4 dedicadas al propósito de Ponedoras, 2 al propósito de Reemplazo de ponedoras, 2 al propósito aves semirústicas y 5 unidades de apoyo. Ver Anexo 2. En la Tabla 3.1 se recoge la capacidad máxima de aves, el promedio de aves del año 2018 y el porcentaje que representa este promedio de aves de la capacidad máxima de cada UEB.

Tabla 3.1. Resumen de las Unidades Empresariales de Base (UEB) productivas de la Empresa Avícola Sancti Spíritus.

UEB	Propósito	Cantidad Máx. de Aves	Cantidad Promedio 2018	%
La Botella	Ponedoras	115600	85066	74
Vega Grande	Ponedoras	150000	106734	71
Hermanos Santos	Ponedoras	60600	52679	87
Guasimal	Ponedoras	165600	112412	68
Total		491800	356891	73
Reemplazo Jatibonico	Reemplazo	277000	81497	29
Reemplazo Cabaiguán	Reemplazo	143000	95352	67
Total		420000	176849	42

Fuente: Elaboración propia.

El promedio de animales por propósito fue de 73 % para las Ponedoras y de 42 % para el Reemplazo. Se pudo observar que en las UEB Ponedoras La Botella trabajó durante el año 2018 a un 74 % de su máxima capacidad, Vega Grande a un 71 %, Hermanos Santos al 87 % y Guasimal al 68 %. Por otra parte, el Reemplazo Jatibonico trabajó al 29 % y Reemplazo Cabaiguán al 67 %. Destacar que La Botella (74 %) fue las que más cerca estuvo de la media de estos porcentajes (73 %) para el propósito de Ponedoras y en el Reemplazo lo fue el Reemplazo Jatibonico.

3.2.2 Cantidad de residuos generados.

En la Empresa Avícola Sancti Spíritus se generan diferentes residuos durante los procesos productivos, ver anexo 3. Los residuos peligrosos son los que provienen de fármacos y de los procesos de vacunación de las aves (empaques, recipientes, insumos). Los residuos no orgánicos lo constituyen el cartón, el vidrio y los materiales plásticos, están también las aguas residuales como resultado de las operaciones de sacrificio y lavado de las aves y encontramos la gallinaza como el residuo orgánico más importante.

Según el Manual de la Avicultura Sociedad-Cubana (2003), en un diagrama de Pareto, podemos determinar cuál es el residuo que representa cerca del 80% de los vertimientos al medio ambiente de la empresa para así determinar las causas que lo provocan y buscar las vías de solución. Para la confección del diagrama de Pareto, se utilizaron datos provenientes de cierres de crianza y recolección de residuos de años anteriores en la Empresa Avícola de la provincia de Sancti Spíritus.

Se pudo comprobar que en un año de ciclo productivo (2018) en la Empresa Avícola Sancti Spíritus se generaron 16 250 000 t de gallinaza, 4 750 000 t de aguas residuales, 2 250 000 t de residuos no orgánicos y 1 750 000 t de residuos peligrosos. El residuo más significativo dentro de la Empresa Avícola lo constituyó la gallinaza (Figura 3.1) representando el 65 % dentro del vertimiento de residuales. Teniendo en cuenta el postulado de Pareto, actuando sobre el manejo de la gallinaza y las aguas residuales se podrían solucionar el 80% de los problemas existentes con el vertimiento de los residuos de la Empresa Avícola de la provincia de Sancti Spíritus.

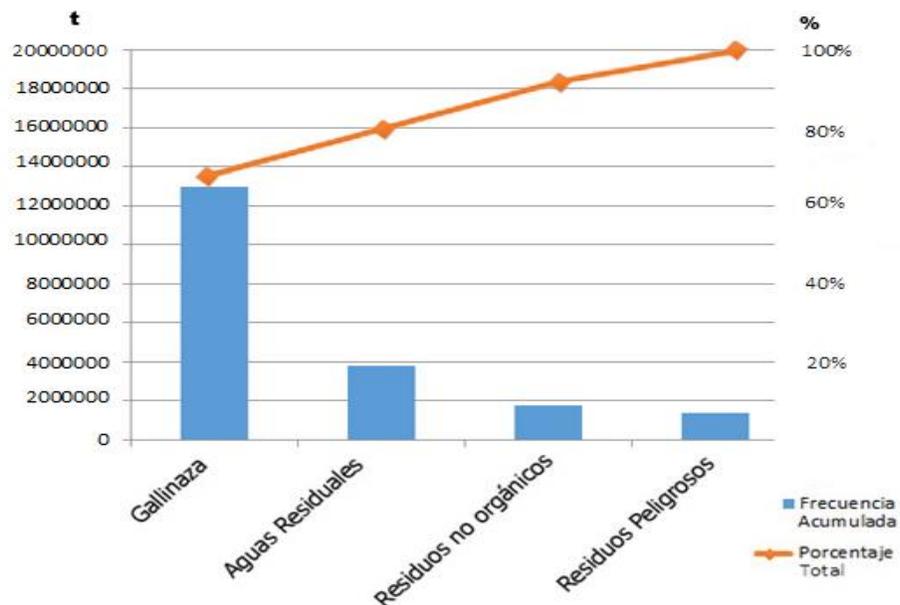


Figura 3.1. Diagrama de Pareto sobre la cantidad de residuos avícolas.
Fuente: Elaboración propia.

En esta investigación se decidió trabajar con la gallinaza, que represento el 65 % del total, quedando las aguas residuales para futuros trabajos por su complejidad y dispersión.

3.2.3 Características fisicoquímicas de la gallinaza.

Para el análisis de las características fisicoquímicas de la gallinaza se tomaron las muestras de las Unidades Empresariales de Base (UEB), como fueron descritas en el capítulo II, observando en las muestras frescas la presencia de escarabajos y gusanos que proliferan en los nichos donde son acumuladas por periodos de hasta 365 días (Figura 3.2).



Figura 3.2. Muestras de gallinaza con presencia de gusanos y escarabajos.

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 3.2 se muestra las características fisicoquímicas de la gallinaza de las muestras analizadas en el laboratorio del Centro de Estudios de Energía y Procesos Industriales de la Universidad de Sancti Spíritus "José Martí y Pérez".

Tabla 3.2. Características fisicoquímicas de la gallinaza.

Gallinaza	ST (%)	SV (%)	SV (%ST)	N-NH ₄ (g/mol)	pH
Reemplazo	89,53 ± 1,92	24,20 ± 0,53	27,03 ± 0,95	254,00 ± 10,60	8,07 ± 0,01
Ponedora	61,91 ± 0,77	43,08 ± 3,19	70,1 ± 5,2	422,00 ± 20,40	8,84 ± 0,01

ST- Sólidos totales

SV- Sólidos volátiles

NA- Nitrógeno amoniacal

Fuente: Elaboración propia

Contenido de Sólidos Totales en la gallinaza.

Los sólidos totales poseen gran importancia en el proceso de digestión anaerobia para la producción de biogás porque posibilitan la adecuada humedad para el desarrollo del proceso biológico además para un adecuado bombeo y agitación de las mezclas que se alimentaran al digestor (Varnero, 2011). Se obtuvo que el contenido de Sólidos totales (ST) de la gallinaza de aves de Reemplazo y Ponedora, calculado a partir de la ecuación 1 del capítulo II, fue de 89,53 ± 1,92 %, mientras que en las Ponedoras fue de 61,91 ± 0,77 % (Tabla 3.2). En la gallinaza del Reemplazo, el alto contenido de ST está dado por el material que se utiliza para la

camada (cascarilla de arroz) los cuales están compuestos principalmente por polisacáridos, siendo un residuo de consistencia más sólida con respecto a la gallinaza (Sociedad-Cubana, 2003). Varnero (2011) plantea en el Manual de producción de biogás que el rango promedio sobre el contenido de ST de la gallinaza oscila entre 26 % y 92 % por lo que se pudo constatar que los resultados de las muestras analizadas están dentro de los parámetros reportados para la gallinaza.

Contenido de Sólidos Volátiles en la gallinaza.

Los sólidos volátiles (SV) poseen gran importancia en el proceso de digestión anaerobia para la producción de biogás porque es el parámetro que cuantifica la cantidad de materia orgánica disponible para los microorganismos y por tanto susceptible a ser transformada en biogás (Varnero, 2011). El contenido de SV de la gallinaza de aves de Reemplazo y Ponedora, a partir de la ecuación 2 propuesta en el capítulo II, fue en el Reemplazo de $24,20 \pm 0,53$ %, representando el 27,03 % de los ST; mientras que en las Ponedora el contenido de SV fue de $43,18 \pm 3,19$ %, representando un 70,1 % de los ST (Tabla 3.2). De estos resultados se evidenció que la gallinaza de Ponedoras proporciona resultados superiores en el contenido de SV, lo que podría favorecer la cantidad de materia orgánica disponible para los microorganismos durante la digestión anaerobia.

Países como Perú, Ecuador y Colombia, con igual forma de crianza de aves y recolección de la gallinaza que Cuba, plantean que dentro de los parámetros fisicoquímicos de la gallinaza; el contenido de SV varía en el rango de 1,5 a 5,0 % (Aguilar Genes, 2015; Barrera Sanchez & Manobanda Lisituña, 2018; Carhuancho León, 2012). Sin embargo, estudios realizados en países como Turquía, Alemania y China (Dalkılıç & Ugurlu, 2015; Nie et al., 2014; Wua et al., 2015), con un gran desarrollo en la avicultura y sistemas mecanizados de recolección de residuos, plantean que el rango de sólidos volátiles de la gallinaza oscila entre 7,44 a 63,58 %. Estos valores muestran la gran diferencia en comparación con los resultados de la gallinaza cubana, lo que sugiere una influencia marcada de aspectos como el tipo de alimentación, el manejo de los sistemas productivos, el clima y la forma de recolección de los residuos. Por ejemplo, la recolección mecanizada proporciona

valores superiores de los SV en la gallinaza en comparación con la recolectada manualmente, ya que posee un menor tiempo de almacenamiento dando lugar a una reducción de las pérdidas de compuestos volátiles por la descomposición del residuo.

Contenido de Nitrógeno Amoniacal en la gallinaza.

La determinación de la concentración de nitrógeno amoniacal, calculada a partir de la ecuación 3 del capítulo II, se hace indispensable para este sustrato por su carácter inhibitorio sobre la metanogénesis en el proceso de digestión anaerobia (FNR, 2010). En la Tabla 3.2 se aprecia que el contenido de nitrógeno amoniacal en la gallinaza de Reemplazo fue de $254,00 \pm 10,60$ g/kg y en las Ponedoras fue $422,00 \pm 20,40$ g/kg, corroborando el alto contenido de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ que poseen las muestras analizadas.

Se ha demostrado que las altas concentraciones de amoníaco/amonio en el sustrato tienen un efecto inhibitorio sobre la metanogénesis, por lo que su acumulación en el procesos de digestión anaerobia podría generar niveles críticos y reducir la tasa de descomposición o incluso detener por completo el proceso (FNR, 2010). (Chen et al., 2007) plantea que el proceso de metanogénesis se inhibe 50 % por valores de nitrógeno amoniacal cercanos a los 220 g/kg en condiciones mesofílicas (37°C) y superiores a 690 g/kg en condiciones termofílicas (55°C). También se reporta que concentraciones superiores a 700 g/mol causan efecto inhibitorio (FNR, 2010). Barrera Sanchez & Manobanda Lisituña (2018) plantean que el nitrógeno amoniacal como parámetro fisicoquímico de la gallinaza debe estar en el rango de 200 g/kg a 700 g/kg, por lo que los resultados de las muestras analizadas están dentro de los parámetros establecidos para la obtención de biogás mediante la digestión anaerobia.

pH en la gallinaza

El pH indica la concentración de iones hidrógeno presentes en una disolución. Se establece que el pH en el funcionamiento óptimo de la digestión anaerobia debe estar alrededor de la neutralidad, este se ubica entre 6.8 y 7.4 (Weber et al., 2012). La tabla 3.2 muestra el pH de la gallinaza de aves de Reemplazo y Ponedoras, siendo de $8,07 \pm 0,01$ y $8,84 \pm 0,01$, respectivamente. Lijarza Galvez (2017) plantea

que dentro de los parámetros fisicoquímicos de la gallinaza, el pH está en el rango de 7 a 9, por lo que las muestras analizadas se correspondieron con los valores reportados. Por otro lado, la gallinaza analizada presenta valores de pH elevados con respecto al óptimo para la digestión anaerobia, lo cual es otro elemento a considerar durante la alimentación de gallinaza a los digestores ya que podría afectar la producción óptima de biogás en el proceso de digestión anaerobia. Se ha demostrado que si se regula este parámetro en el reactor se podría favorecer el proceso de metanogénesis y obtener una mayor producción de biogás (Barrera Sanchez & Manobanda Lisituña, 2018).

3.3. Etapa II: Estimación del potencial energético de los residuos avícolas

3.3.1 Potencial energético de la gallinaza

Autores como Saucedo Nardo & Antúnez Morales (2017) reportan que cada 24 h una gallina Ponedora produce entre 0,12 y 0,15 kg de excretas y una gallina de Reemplazo produce entre 0,05 y 0,08 kg, dependiendo del tamaño del ave, su estado fisiológico, su dieta y la época del año. El potencial de biogás depende en gran medida de los sólidos volátiles presentes en el sustrato. Olaya (2006) refiere que 1 kg de sólidos volátiles de gallinaza se pueden generar 0,3111 m³ de biogás. Otros estudios recientes del potencial de residuos de Cuba, Suárez-Hernández et al. (2018), utilizan índices 0,06 m³ de biogás por kg de gallinaza para estimar su potencial, obviando la concentración de sólidos volátiles en el sustrato. La figura 3.1 muestra una comparación del potencial de biogás en m³ (utilizando ambos índices) por kg de SV y por kg de excreta en la Empresa Avícola Sancti Spíritus (Anexo 4).

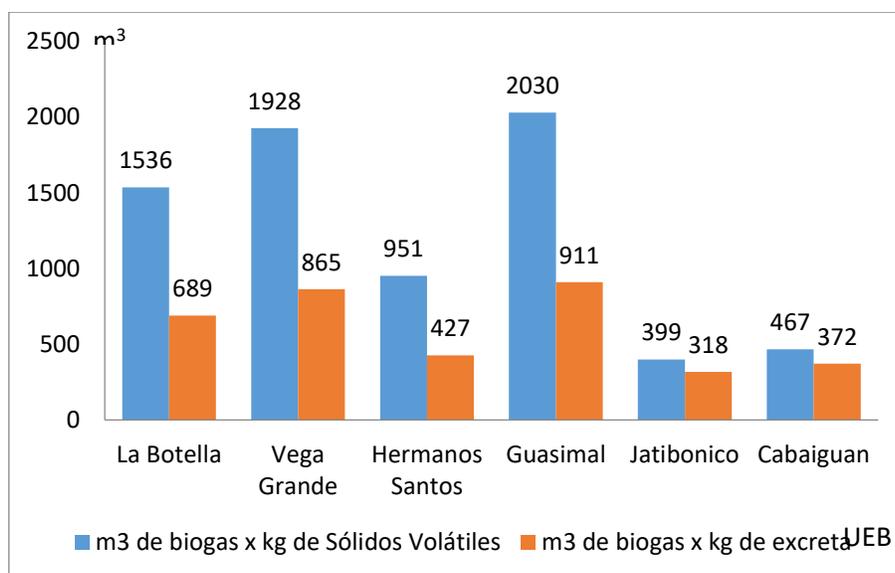


Figura 3.1. Comparación de m³ de biogás generado por Sólidos volátiles y kg de excreta.
Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3.1 se pudo observar que el potencial de biogás utilizando el índice reportado en Suárez-Hernández et al. (2018) es 2.2 veces inferior en las Ponedoras y 1.25 veces inferior en las de Reemplazo. Esta estimación del potencial de biogás se fundamenta principalmente en la falta de una caracterización apropiada de la gallinaza para determinar fundamentalmente los SV que contiene, y el empleo de indicadores reportados para otros países, por lo que se puede estar mostrando un resultado inapropiado, que no se corresponde con las características de la gallinaza cubana.

Por tal motivo en esta investigación, se considera apropiado el cálculo del potencial de biogás para la Empresa Avícola Sancti Spíritus, utilizando la cantidad de sólidos volátiles de las muestras analizadas en la gallinaza derivados de los resultados obtenidos en la caracterización de este sustrato.

En la tabla 3.3 se muestra el potencial de biogás de la Empresa Avícola de Sancti Spíritus, teniendo en cuenta los rangos reportados para los índices de generación de excretas, los SV calculados para las gallinazas espirituanas y el índice de generación de biogás por kg de SV reportado por Olaya (2006) (tabla 3.2).

Tabla 3.3. Potencial de biogás de la Empresa Avícola de Sancti Spíritus.

UEB	Índice		Excretas		SV %	SV		Índice m ³ biogás/ kg SV	Potencial	
	kg excreta/ave/d		kg/d			kg			m ³ biogás/d	
	Mín	Máx	Mín	Máx		Mín	Máx		Mín	Máx
La Botella	0,12	0,15	10208	12760	43.08	4389	5487	0,3111	1366	1707
Vega Grande	0,12	0,15	12808	16010	43.08	5507	6884	0,3111	1713	2142
Hermanos Santos	0,12	0,15	6321	7902	43.08	2718	3398	0,3111	846	1057
Guasimal	0,12	0,15	13489	16862	43.08	5800	7251	0,3111	1805	2256
Jatibonico	0,05	0,08	4075	6520	24.20	986	1578	0,3111	307	491
Cabaiguan	0,05	0,08	4768	7628	24.20	1154	1846	0,3111	359	574
Total			51669	67681		20555	26443		6395	8226

Fuente: Elaboración propia.

Tomando el promedio de gallinas existente en el año 2018 en todas las Unidades Empresariales de base de la Empresa Avícola Sancti Spíritus (tabla 3.1), se observó que las UEB La botella, Vega grande y Guasimal podrían generar entre 1366-1707, 1713-2142, y 1805-2256 m³ de biogás diario, respectivamente, agrupando el 80,5 % del potencial máximo total. En contraste con esto, el potencial de biogás de los residuos generados en las granjas de reemplazo representó solamente el 5.4 % del potencial máximo total, debido a que el porcentaje de SV de este residuo es inferior al de la Ponedora. Por tanto, teniendo presente los sólidos volátiles de la gallinaza, fue posible estimar el potencial máximo entre los 6395 y 8226 m³ de biogás diario.

Barrera (2007), plantea que 1 m³ de biogás puede generar 2.32 kWh de energía eléctrica y 3.23 kWh de energía térmica. La Tabla 3.4 muestra el potencial eléctrico y térmico que podría producirse a partir de la digestión anaerobia de la gallinaza considerando el potencial estimado en la tabla 3.3.

Tabla 3.4. Estimación del potencial eléctrico y térmico de la gallinaza.

UEB	Prom m³ biogás/d	kWh_e	kWh_t	kWh_e/año	kWh_t/año
La Botella	1536	3564	4962	1300883	1811143
Vega Grande	1928	4472	6226	1632243	2272476
Hermanos Santos	951	2207	3073	805604	1121595
Guasimal	2030	4710	6557	1719083	2393378
Jatibonico	399	925	1288	337714	470179
Cabaiguan	467	1083	1507	395127	550113
	7311	16961	23613	6190654	8618884

Fuente: Elaboración propia.

Mediante el procesamiento de la gallinaza como sustrato para la producción de biogás se podrían generar en la Empresa Avícola Sancti Spíritus un total de 6190,654 MWh de energía eléctrica y 8618,884 MWh de energía térmica cada año, donde las granjas ponedoras representaron cerca del 88 % de este potencial. Las Unidades Empresariales de Base con propósito de Ponedoras en la Empresa Avícola Sancti Spíritus consumen como promedio 500 kWh de energía eléctrica diariamente, por lo que los resultados obtenidos en este trabajo demuestran que se podría cubrir el 100% de la demanda eléctrica de estas entidades y utilizar los excedentes para el incremento de sus niveles productivos. Aunque el potencial de las granjas de reemplazo es inferior al 15 %, estas consumen carbón y gas natural para la calefacción de las aves, por lo que podría analizarse caso a caso la producción de este calor con la utilización de la gallinaza como sustrato para la producción de biogás y así disminuir los costos por la adquisición de estos combustibles.

3.4. Etapa III: Elaboración del plan de acciones para minimizar la acumulación de residuales.

3.4.1 Elaboración del plan de acciones.

A partir de las deficiencias detectadas se confeccionó el diagrama causa efecto, que permitió identificar los problemas por lo que existe acumulación de la gallinaza en las granjas avícolas, de una manera gráfica, ver la Figura 3.8. Las principales causas detectadas se distribuyeron entre las de tipo máquinas y métodos.

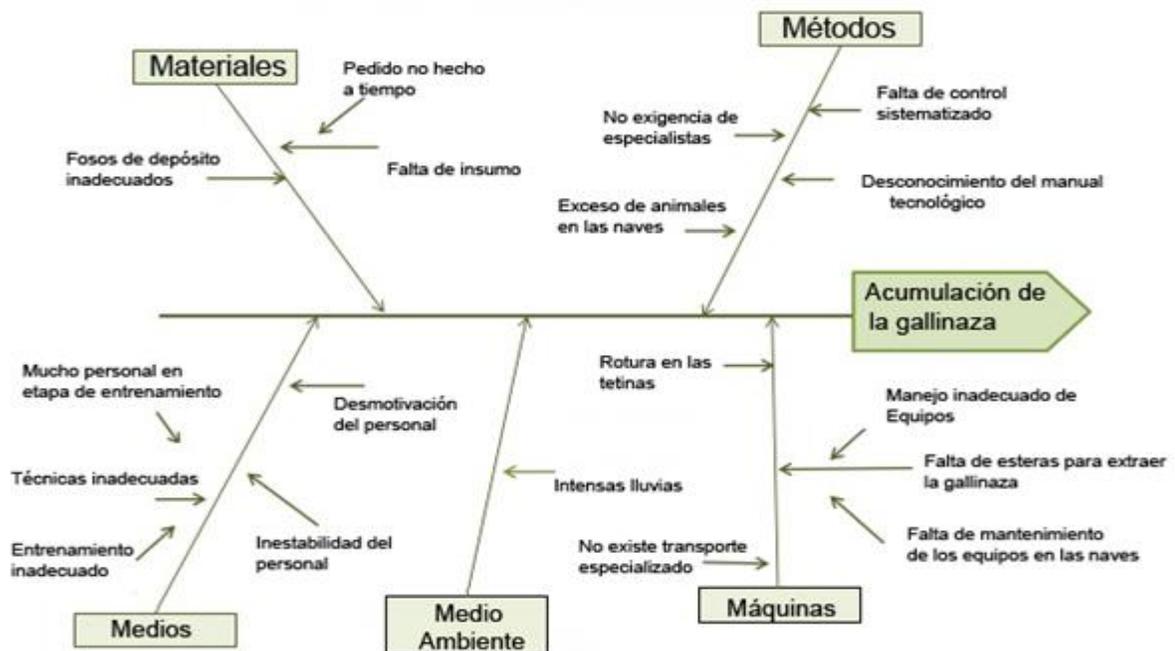


Figura 3.8 Diagrama Causa – Efecto sobre la acumulación de la gallinaza.
Fuente: Elaboración propia.

Materiales.

- Fosos de depósitos inadecuados.
- Falta de insumos
- Pedidos no realizados a tiempo.

Métodos.

- No exigencia de especialistas.
- Exceso de animales en las naves.

- Desconocimiento del manual tecnológico.
- Falta de control sistematizado.

Máquinas.

- No existe transporte especializado.
- Falta de esteras para extraer la gallinaza en 24 h.
- Manejo inadecuado de equipos.
- Falta de mantenimiento de los equipos en las naves.

Medio Ambiente.

- Intensas lluvias.

Medios.

- Mucho personal en etapa de entrenamiento.
- Desmotivación del personal.
- Técnicas inadecuadas.
- Entrenamiento inadecuado.
- Inestabilidad del personal.

Partiendo de que las decisiones eficaces se basan en el análisis de datos y la información, se detalla mediante un plan de acciones concretas y derivadas del diagrama causa-efecto las mejores variantes de solución para la mejora dirigidas a las causas del problema identificado. Esto implica la implementación de cambios y el monitoreo de los resultados. La actuación se dirige a las variables del proceso sobre las cuales existe capacidad de actuación.

Se presenta un plan de acciones basado en los análisis de las técnicas aplicadas con un orden de prioridad en su ejecución para controlar su cumplimiento. Siguiendo el Ciclo de Deming se obtuvo que, de estas acciones recomendadas, el 15 % son de Planificar, el 15 % de Verificar, el 32 % de Actuar y el 38 % de Hacer.

3.5 Conclusiones parciales del capítulo.

- Se caracterizó la gallinaza a través de los parámetros fisicoquímicos, presentando mayores concentraciones que lo requerido en el pH. Los sólidos totales, sólidos volátiles y nitrógeno amoniacal estuvieron en el rango reportado para el proceso de digestión anaerobia.
- Se estimó que potencial de biogás de la gallinaza podría alcanzar los 7 311 m³ de biogás diario, que representarían una producción de energía eléctrica y térmica anual de 6 190,654 MWh_e y 8 618,884 MWh_t, respectivamente, en la Empresa Avícola Sancti Spíritus.
- Se propuso un plan de acciones para minimizar la acumulación de la gallinaza en las granjas de la Empresa Avícola con un total de 13 acciones, donde el 15 % fueron de Planificar, el 15 % de Verificar, el 32 % de Actuar y el 38 % de Hacer.

CONCLUSIONES GENERALES

- Del análisis crítico de la literatura científica, se evidenció la necesidad de determinar el potencial energético de la gallinaza en la Empresa Avícola de Sancti Spíritus, partiendo de sus características específicas.
- A partir de las técnicas analíticas de cuantificación se caracterizó la gallinaza de la Empresa Avícola de Sancti Spíritus, reportando valores entre los límites reportados en la literatura.
- La estimación del potencial de biogás y energético, arrojó que mediante el tratamiento anaerobio de la gallinaza se podrían cubrir el 100 % de las demandas eléctricas y térmicas de cada UEB e incrementar sus niveles productivos a partir de nuevas disponibilidades energéticas, valorizando este residual y convirtiéndolo en materia prima para la generación de nuevos productos.
- El plan de acción propuesto contribuye a la proyección de la empresa hacia el aprovechamiento de la gallinaza como recurso energético renovable y a la minimización de los impactos generados por el vertimiento de residuales biodegradables.

RECOMENDACIONES

- 1- Realizar estudios en discontinuo y semicontinuo del proceso de digestión anaerobia de la gallinaza, para determinar exactamente el potencial de biogás que se puede producir y reducir las incertidumbres asociadas.
- 2- Estudiar el potencial energético de los restantes residuos de la Empresa Avícola de Sancti Spíritus, aguas residuales, residuos peligrosos e inorgánicos.
- 3- Discutir el plan de acciones con los directivos de la Empresa Avícola de Sancti Spíritus.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agostini, A., Battini, F., Giuntoli, J., Tabaglio, V., Padella, M., Baxter, D., . . . Amaducci, S. (2015). Environmentally Sustainable Biogas? The Key Role of Manure Co-Digestion with Energy Crops.
- Aguilar Genes, J. L. (2015). *Estimación del potencial de energía eléctrica a partir de una unidad de volumen de excreta de gallina proveniente de granjas avícolas.*, Universidad del Valle., Santiago de Cali.
- Amado Gonzalez, E., & Prada Luna, S. (2007). Evaluacion de la produccion de biogas a partir de pollinaza.
- Apha, A. (2012). WEF.(2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 22.
- Association, B. (2015). Municipal Guide to Biogas.
- Bansal, V., Tumwesige, V., & Smith, J. U. (2017). Water for small-scale biogas digesters in sub-Saharan Africa.
- Barrera, E. L. (2007). *Propuestas tecnológicas para producir biogás con fines energéticos. Un estudio de caso en la granja Remberto Abad Alemán.* Tesis de Maestría. Universidad de Cienfuegos, 2007.
- Barrera Sanchez, G. A., & Manobanda Lisituña, M. F. (2018). *Estudio del potencial energético de residuos procedentes de la industria avícola a partir de digestión anaerobia.* (Proyecto previo a la obtención del título de ingeniero ambiental), Escuela politécnica nacional.
- Blanco Betancourt, D., Cepero Casas, L., Suárez Hernández, J., & Martín Martín, G. J. (2012). Manual de diseño, montaje y operación de digestores plásticos de bajo costo. Una alternativa para Cuba.
- Brechelt, A. (2004). Manejo Ecológico del Suelo. Fundación de Agricultura y Medio Ambiente (FAMA). *Manual. Chile.*
- Campos Pozuelo, E. (2001). Optimización de la digestión anaerobia de purines de cerdo mediante codigestión con residuos orgánicos de la industria agroalimentaria.
- Carabias, J. (2018). Políticas económicas con sustentabilidad ambiental.
- Carhuanchó León, F. M. (2012). *Aprovechamiento del estiércol de gallina para la elaboración de biol en biodigestores tipo batch como propuesta al manejo de residuo avícola.* UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LAMOLINA, Peru.
- Castillo, É. F., Cristancho, D. E., & Arellano, V. (2003). Estudio de las condiciones de operación para la digestión anaerobia de residuos sólidos urbanos. *Revista colombiana de biotecnología*, 5(2), 11-22.
- Castro Soto, I. A. (2016). *Potencial de biogás a partir de estiércol animal e implementación de plantas de biogás en Chile para el tratamiento de desechos en segmento ganadero definido.* Universidad técnica federico santa maría.
- Cendales Ladino, E. D. (2011). Producción de biogas mediante la codigestión anaeróbica de la mezcla de residuos cítricos y estiércol bovino para su utilización como fuente de energía renovable.
- Contreras, L. M., López, L., & Romero, O. (2006). Producción de biogás con fines energéticos. De lo histórico a lo estratégico. *Revista futuros*, 16(4), 1-8.
- Correa Álvarez, P. F., González González, D., & Pacheco Alemán, J. G. (2016). Energías renovables y medio ambiente. su regulación jurídica.
- Cuba, V. C. d. P. C. d. (2011). Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución.
- Chen, Y., Cheng, J. J., & Creamer, K. S. (2007). Inhibition of anaerobic digestion process: A review.
- Dalkılıç, K., & Ugurlu, A. (2015). Biogas production from chicken manure at different organic loading rates in a mesophilic-thermophilic two stage anaerobic system.

- Eionet. (2017). La energía en Europa: situación actual Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2017-configuracion-del-futuro/articulos/la-energia-en-europa-situacion-actual>
- FAO. (2013). Revisión del desarrollo avícola.
- Fernández, E. (1999). *Metodología de bajo costo para disminuir la concentración de H₂S (g) en el biogás*. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias
- Field, J. (1987). *Medición de parámetros*.
- FNR. (2010). Guía sobre el Biogás. Desde la producción hasta el uso.
- Fundación Wikimedia, I. (2019). Energía renovable. Retrieved from https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_renovable
- García, O., & González, L. (2010). Diseño y evaluación de un biodigestor para obtener gas metano y biofertilizante a partir de la fermentación de cachaza y residuos agropecuarios. *Centro Universitario Sancti Spiritus*.
- García, Y., Ortiz, A., & Wo, E. L. (2008). Efecto de los residuales avícolas en el ambiente. *Los Avicultores y su Entorno*, 10, 40-50.
- Hawkes, F. R., Guwy, A. J., Hawkes, D. L., & Rozzi, A. G. (1994). On-line monitoring of anaerobic digestion: application of a device for continuous measurement of bicarbonate alkalinity. *Water science and technology*, 30(12), 1.
- Hernández, E., Samayoa, S., Álvarez, E., & Talavera, C. (2011). Estudio sobre el potencial de desarrollo de iniciativas de biogás en Honduras.
- Intagri. (2012). La gallinaza como fertilizante. Retrieved from <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/gallinaza-como-fertilizante>
- Irigoyen, J. (2015). Manejo de residuos en granjas y plantas avícolas. Retrieved from <https://www.engormix.com/avicultura/articulos/manejo-residuos-granjas-plantas-t32308.htm>
- Jimenez Borges, R., López Batida, E. J., González Pérez, F., & Curbelo García, J. A. (2017). Evaluación preliminar del potencial energético de diferentes biomásas en la provincia de cienfuegos. *Revista Centro Azúcar*, 45.
- Jímenez Rodríguez, R. A., Macías Socarras, I., & Núñez Sánchez, P. A. (2017, abril-junio 2017). Potencial de generación de electricidad utilizando el biogás producido por las excretas de ganado vacuno y porcino en el municipio de manzanillo. *Revista Granmense de Desarrollo Local*, 1.
- Lijarza Galvez, Y. I. (2017). *Producción de biogás a partir del estiércol de ganado vacuno y gallinaza durante el proceso de digestión anaerobia a escala de laboratorio*. Universidad nacional agraria de la selva.
- López Gonzalez, L. M. (2016). *Análisis de alternativas de producción más limpia (PML) para la producción de biogás con fines energéticos en una empresa azucarera diversificada*. Universidad Central "M arta Abreu" de Las Villas, La Habana.
- Méndez Sarabia, M. A., Canepa Laines, J. R., Olivier Sosa, J. A., & Espinosa Escalante, E. (2016). Producción de biogás mediante codigestión anaerobia de excretas de borrego y rumen adicionadas con lodos procedentes de una planta de aguas residuales.
- Nie, H., Jacobi, H. F., Strach, K., Xu, C., Zhou, H., & Liebetrau, J. (2014). Mono-fermentation of chicken manure: Ammonia inhibition and recirculation of the digestate.
- Nzila, C., Dewulf, J., Spanjers, H., Kiriamiti, H., & van Langenhove, H. (2010). Biowaste energy potential in Kenya.
- Odales Bernal, L. (2018). Nitrogeno total y amoniacal.
- Olaya, Y. (2006). Diseño de un biodigestor de cúpula fija. *Trabajo de Grado (Ingeniero)*.

- Oria Gómez, Y. (2010). *Procedimiento para localizar plantas y conformar la red logística de la producción de biogás en la provincia Sancti Spiritus*. Universidad Central "Martha Abreu" de las Villas.
- Ortez, D. D., & Zelada, Y. M. (2010). Evaluación del potencial energético de desechos sólidos de granjas de engorde avícolas en el salvador.
- Oviero Rondon, E. O. (2009). Ahorro energético en granjas avícolas.
- Regalado Yépez, D. A. (2009). *Estudio de la generación de biogás y fertilizante orgánico utilizando desechos orgánicos*. Quito: USFQ, 2009. Retrieved from <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/1114>
- Ribeiro Salomon, K., & Silva Lora, E. E. (2009). Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil.
- Robles Algarin, C., & Rodríguez Álvarez, O. (2018). Un panorama de las energías renovables en el Mundo, Latinoamérica y Colombia.
- Roche Salazar, H. (2014). *Evaluación del potencial energético de la Biomasa residual de la industria forestal y agrícola en Moa*. Ministerio de Educación Superior Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez", República de Cuba, Moa.
- Romero-Aguilar, M., Colín-Cruz, A., Sánchez-Salinas, E., & Ortiz-Hernández, M. A. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 25(3), 157-167.
- Romero, O. (2005). Metodología para incrementar el aporte de electricidad con bagazo y alternativa de combustible para generar fuera de zafra. *Unpublished PhD Thesis, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Cuba*.
- Sales, M. (2009). Diagrama de Pareto. *Recuperado el, 15*.
- Sánchez Borroto, Y., Melo Espinosa, E. A., Piloto Rodríguez, R., & Sierens, R. (2014). El escenario energético cubano.
- Sánchez Rivero, Y. (2009). *Producción de biogás a partir de los residuales orgánicos vacuno de la Vaquería 17 Maniabo de la provincia Las Tunas.*, Las Tunas.
- Saucedo Nardo, M., & Antúnez Morales, E. (2017). XV Seminario Nacional de Energía en apoyo a la toma de decisiones Producción y el uso del biogás en el sector ganadero.
- Sociedad-Cubana, P. A. (2003). Manual de Avicultura.
- Sosa Delgado, C. M. (2015). *Parámetros de control y monitoreo del proceso en digestores anaerobios de pequeña escala y diferentes tecnologías*. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba.
- Sosa, R., Cruz, M. T., de la Fuente, J. L., Domínguez, P. L., Cabrera, I., & Brunels, N. R. (2017). Programa de implementación de biodigestores como sistemas de tratamiento de aguas residuales y la obtención de energía, biogás y fertilizante orgánico en la producción porcina cubana.
- Suárez-Hernández, J., Sosa-Cáceres, R., Martínez-Labrada, Y., Curbelo-Alonso, A., Figueredo-Rodríguez, T., & Cepero-Casas, L. (2018). Evaluación del potencial de producción del biogás en Cuba.
- Sürmeli, R. O., Bayrakdar, A., & Çalli, B. (2017). Removal and recovery of ammonia from chicken manure.
- Tamayo Rojas, M. (2014). *Propuesta de manual técnico para el manejo y aprovechamiento de residuos orgánicos avícolas generados en el proceso de producción de huevos*.
- Users Fernández, J. L. (2012). El cambio climático: Sus causas y efectos medioambientales.
- Varnero, M. T. (2011). Manual de biogás. *FAO. Santiago, Chile*.

- Vega Chaparro, M. C., Quiles Cruz, C. V., Sanchez Figueroa, M., Vigo Rivera, B., & Guilbe López, C. J. (2012). Hacia una economía verde: La gallinaza como fuente de energía alterna en Puerto Rico.
- Villanueva, S. M. (Writer). (2008). Proyecto de Biogás.
- Watson, G. (2004). The legacy of Ishikawa. *Quality Progress*, 37(4), 54.
- Weber, B., Rojas Oropesa, M., Torres Bernal, M., & Pampillón González, L. (2012). Producción de biogás en México, estado actual y perspectivas.
- Wua, S., Ni, P., Li, J., Sun, H., Wang, Y., Luo, H., . . . Dong, R. (2015). Integrated approach to sustain biogas production in anaerobic digestion of chicken manure under recycled utilization of liquid digestate: Dynamics of ammonium accumulation and mitigation control.

ANEXOS:

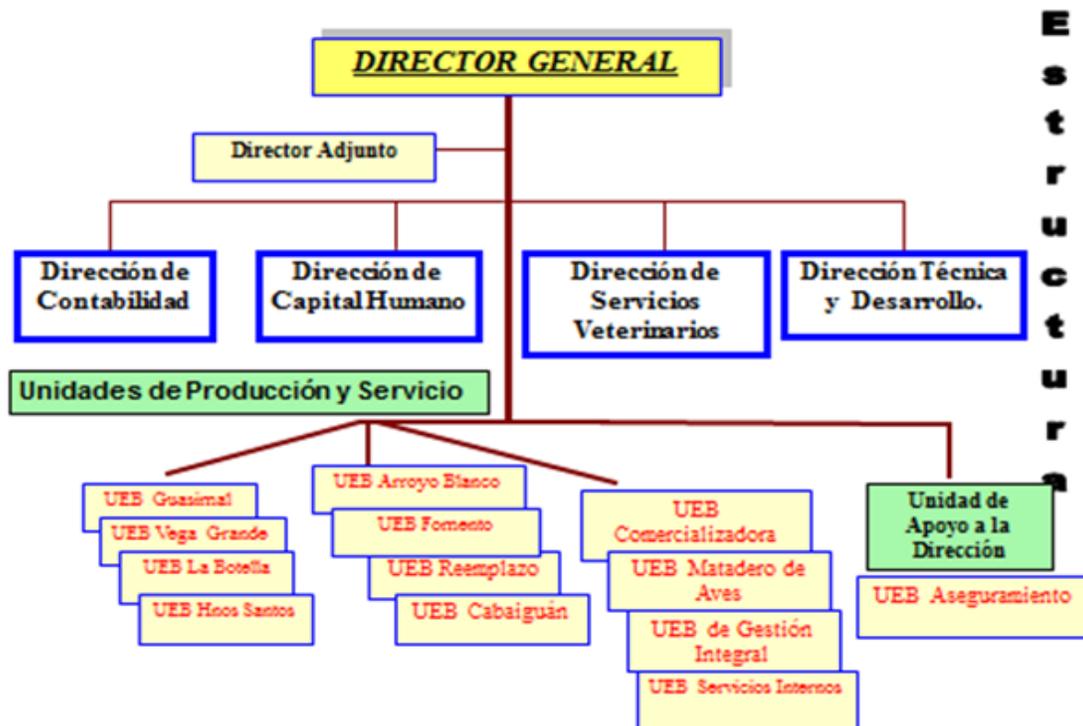
Anexo 1: Elaboración del plan de acciones.

No	Acción	Fecha de Cumplimiento	Participantes	Responsables	Observaciones
1					
2					
3					
4					
5					

Plan de acciones para aprovechamiento de los residuos avícolas en la producción de biogás. Fuente: Elaboración Propia

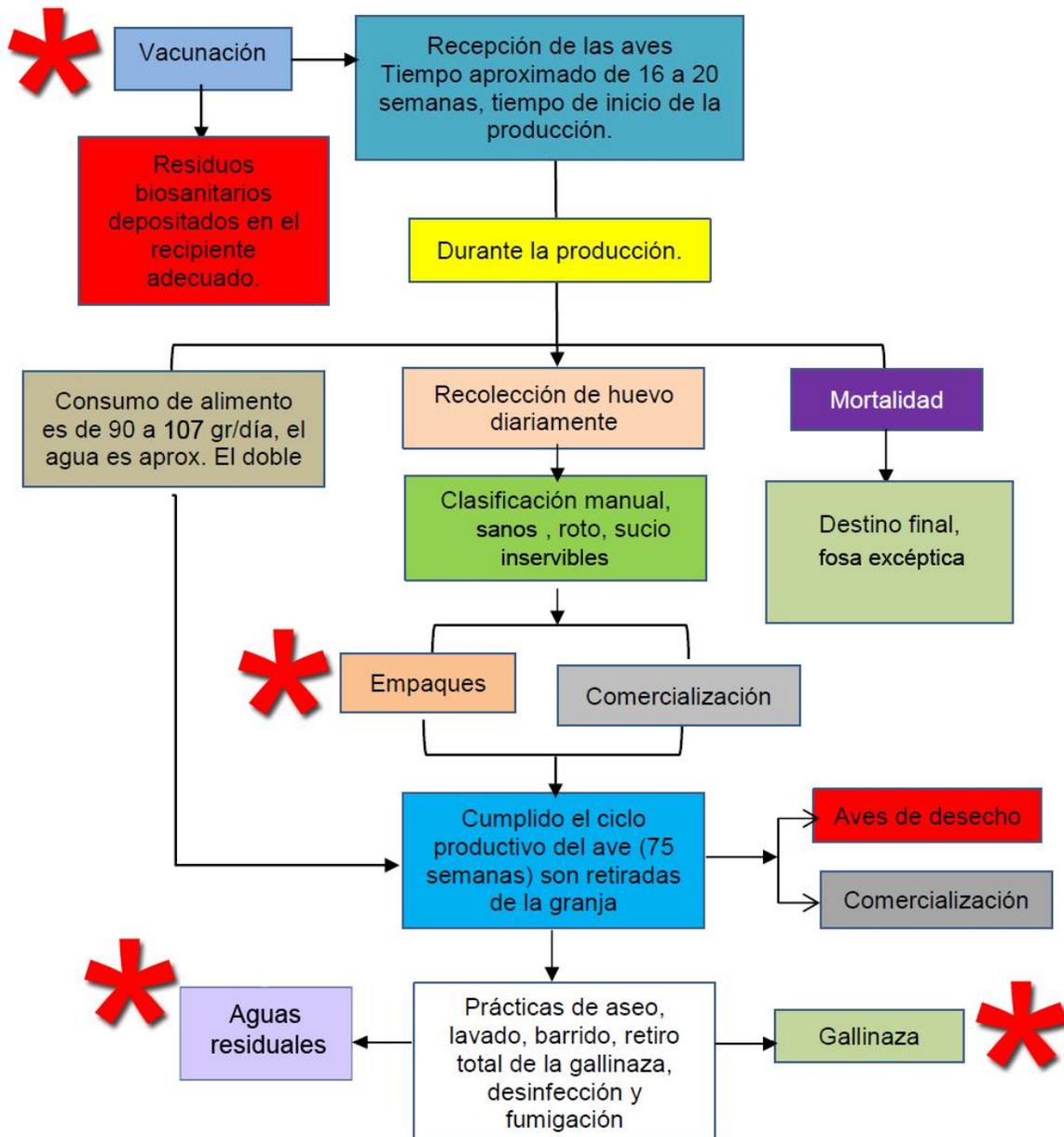
- Acciones específicas que van a tomarse.
- Personas responsables y participantes de llevarlas a cabo.
- Fecha de cumplimiento de dichas acciones.
- Observaciones relevantes en cada una de ellas.

Anexo 2: Estructura de la Empresa Avícola Sancti Spiritus.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3: Proceso productivo en la Empresa Avícola Sancti Spíritus.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 5: Comparación de la cantidad de m³ de biogás que se puede producir.

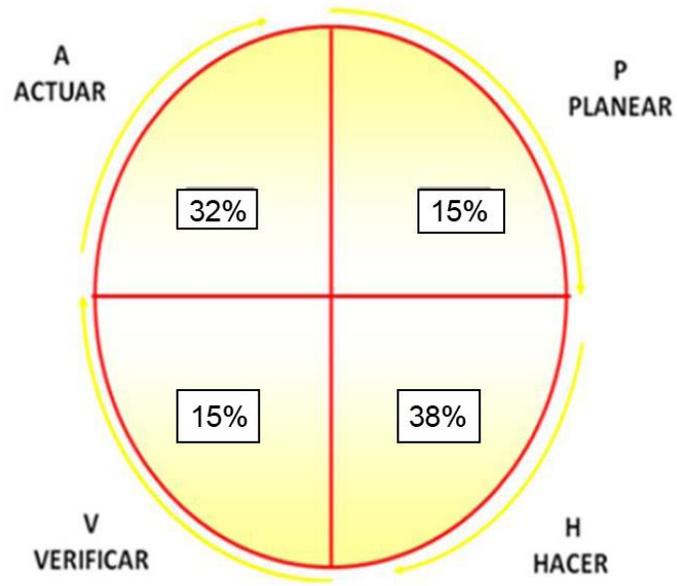
m₃ biogás/d x S. Volátiles			m₃ biogás/d x kg de gallinaza		
Mín	Máx	Media	Mín	Máx	Media
258	322	290	612	766	689
323	404	364	768	961	865
159	199	179	379	474	427
340	425	383	809	1012	911
23	36	29	244	391	318
26	42	34	286	458	372
1130	1429	1279	3100	4061	3581

Cantidad de biogás por kg de sólidos volátiles y por kg de excreta.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 6: Ciclo de Deming.

Ciclo de Deming



Anexo 6: Propuesta del Plan de Acción.

No	Acción	Fecha de Cumplimiento	Participantes	Responsables	Ciclo Deming
1	Comunicar en el Consejo de Dirección de la Empresa la necesidad de mejorar el tratamiento de residuales.	02-09-2019	Consejo de Dirección Empresa	Director General	H
2	Creación de un grupo de trabajo que se encargue del problema.	23-09-2019	Miembros del grupo de trabajo	Director General	H
3	Reunión del grupo para informar objetivos y alcance de este proyecto.	25-09-2019	Miembros del grupo de trabajo	Director General	P
4	Definir las UEB seleccionadas para la aplicación del proyecto.	25-09-2019	Miembros del grupo de trabajo.	Resp. del grupo de Trabajo	A
5	Reunión con los trabajadores de las UEB.	30-09-2019	Miembros del Grupo y Dtor de UEB	Director General	H
6	Capacitación del personal directivo y los especialistas de las UEB seleccionadas.	14-10-2019	Miembros del Grupo	Director General	H
7	Capacitación del personal de trabajo en las UEB en materia de acumulación de residuales y los problemas que esto trae consigo.	21-10-2019	Miembros del Grupo, Dtor de UEB y Especialistas	Dtor General	H
8	Contratación de albañiles para la reparación de los nichos de almacenamiento de la gallinaza.	22-10-2019	Esp. Recursos Humanos.	Dtor General	P
9	Seguimiento en el área productiva de la acumulación de residuales y los resultados de la capacitación.	28-10-2019	Miembros del Grupo, Dtor de UEB y Especialistas	Resp. del grupo de Trabajo	V
10	Seguimiento en el	4-11-2019	Compradores	Dtor de	V

	área productiva sobre la reparación de los nichos para almacenar la gallinaza.			Logística	
11	Gestionar la compra de insumos necesarios, ropa sanitaria, gorros, tapa boca.	11-11-2019	Compradores	Dtor de Logística	A
12	Gestionar la compra o alquiler de equipos para la extracción de la excreta.	18-11-2019	Compradores	Dtor de Logística	A
13	Poner en marcha este trabajo.	02-12-2019	Mbros del Grupo y trabajadores de las UEB seleccionadas	Dtor General	A