



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



APROVECHAMIENTO DE LOS DESECHOS AVÍCOLAS GENERADOS EN EL FUNDO AGROPECUARIO PIEDRAS AZULES PARA LA OBTENCIÓN DE UN BIOFERTILIZANTE

**Trabajo especial de Grado presentado a la Ilustre Universidad de Carabobo, para
optar al título de Ingeniero Químico**

Tutor Académico:

Prof. Jhonny Medina

Tutor Industrial:

Lic. Tomás Hernández

Autores:

ARAUJO, Génesis CI: 20.586.929

ROSALES, Claudia CI: 20.396.221

Valencia, septiembre de 2018.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



APROVECHAMIENTO DE LOS DESECHOS AVÍCOLAS GENERADOS EN EL FUNDO AGROPECUARIO PIEDRAS AZULES PARA LA OBTENCIÓN DE UN BIOFERTILIZANTE

Autores: Araujo Génesis y Rosales Claudia

Tutor: Jhonny Medina

Septiembre 2018

RESUMEN

La generación de desechos orgánicos de la actividad avícola representa un latente problema, debido a los efectos sobre el ambiente que se derivan de los focos de contaminación que se producen como consecuencia de la acumulación de este tipo de desechos. Es por esto que, se planteó como objetivo fundamental de esta investigación evaluar el aprovechamiento de los desechos orgánicos de la granja avícola en la Agropecuaria “Piedras Azules” para la obtención de un biofertilizante. Para esto, se llevó a cabo la determinación de las características fisicoquímicas de muestras de gallinaza recolectadas. Luego, se estableció los parámetros para la obtención del biofertilizante. Posteriormente, se caracterizó el biofertilizante obtenido, se comparó con un fertilizante comercial, y se estimó la relación beneficio-costos del aprovechamiento de la gallinaza. Los resultados obtenidos, indican que la gallinaza contiene 12,27% de humedad, 77% de carbono orgánico, 2,42% de N, 0,31% de P, 1,48ppm de K_2O , 2,02ppm de CaO , 0,90ppm de MgO y 0,21ppm de Zn. Además, que los parámetros establecidos para la biodigestión fueron la relación C/N de 31,8 y la relación entre la materia orgánica y el agua de $\frac{1}{4}$ para un tiempo de retención de 44 días. Las características del biosol obtenido fueron: 1,07% de N, 0,22% de P, 1,95ppm de K_2O , 0,88ppm de CaO , 0,21ppm de MgO y 0,22ppm de Zn. El biofertilizante obtenido obtuvo un porcentaje de germinación del 100% en comparación con 88,88% del fertilizante comercial. La relación beneficio-costos fue de 5,21 por lo que el proceso de aprovechamiento de los desechos avícolas para la producción de un biofertilizante es favorable en las condiciones planteadas.

Palabras clave: Gallinaza, Biodigestión anaeróbica, Biofertilizante.



UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



USE OF POULTRY WASTE GENERATED IN THE AGRICULTURAL FARM "PIEDRAS AZULES" TO OBTAINING A BIOFERTILIZER.

Autores: Araujo Génesis y Rosales Claudia

Tutor: Jhonny Medina

September 2018

ABSTRACT

The generation of organic waste from the poultry activity represents a latent problem, due to the effects on the environment that are derived from the pollution sources that are produced as a result of the accumulation of this type of waste. For this reason, the fundamental objective of this research was to evaluate the use of organic waste from the poultry farm in the "PiedrasAzules" farm to obtain a biofertilizer. For this, the determination of the physicochemical characteristics of collected chicken manure samples was carried out. Then, the parameters for obtaining the biofertilizer were established. Subsequently, the obtained biofertilizer was characterized, compared with a commercial fertilizer, and the benefit-cost ratio of the use of the chicken manure was estimated. The results obtained indicate that the manure contains 12.27% moisture, 77% organic carbon, 2.42% N, 0.31% P, 1.48ppm K₂O, 2.02ppm CaO, 0, 90ppm MgO and 0.21ppm Zn. In addition, the established parameters for biodigestion were the C / N ratio of 31.8 and the relationship between organic matter and water of ¼ for a retention time of 44 days. The biosol characteristics obtained were: 1.07% of N, 0.22% of P, 1.95ppm of K₂O, 0.88ppm of CaO, 021ppm of MgO and 0.22ppm of Zn. The obtained biofertilizer obtained a percentage of germination of 100% in comparison with 88.88% of the commercial fertilizer. The benefit-cost ratio was 5.21, so the process of using the poultry waste for the production of a biofertilizer is favorable under the conditions proposed.

Keywords:Poultry Manure, Anaerobic Biodigestion, Biofertilizer.

CONTENIDO

	Pág.
Agradecimientos.....	iii
Dedicatoria.....	iv
Dedicatoria.....	v
Índice de tablas.....	x
Índice de figura.....	xi
Introducción.....	1
Capítulo I. Planteamiento de problema.....	2
1.1. Descripción del problema.....	2
1.2. Formulación	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo General.....	4
1.3.2. Objetivos Específicos.....	4
1.4. Justificación	4
Capítulo II. Marco Referencial.....	6
2.1 Antecedentes.....	6
2.2. Bases teóricas.....	8
2.2.1 Actividad avícola.....	8
2.2.2 Digestión anaeróbica.....	14
2.2.3 Biol.....	21
2.2.4 Biosol.....	22
2.2.5 Requerimientos nutricionales de las plantas.....	22
2.2.6 Análisis beneficio-costo.....	25
Capítulo III. Marco metodológico.....	27
3.1 Tipo de investigación.....	27
3.2 Fases metodológicas.....	27
3.3 Operacionalización de los objetivos.....	28
3.3.1. Determinar las características fisicoquímicas de muestras de gallinaza recolectadas.....	28
3.3.2. Establecer los parámetros para la obtención del biofertilizante, según las características de la gallinaza.....	31
3.3.3. Caracterizar fisicoquímicamente el biofertilizante obtenido.....	32
3.3.4. Comparar el fertilizante obtenido con un fertilizante comercial.....	32
3.3.5. Estimar la relación beneficio-costo del posible aprovechamiento de la gallinaza.....	32
Capítulo IV. Resultados y discusión.....	33
4.1. Determinar las características fisicoquímicas de muestras de gallinaza recolectadas.....	33

4.2. Establecer los parámetros para la obtención del biofertilizante, según las características de la gallinaza.....	34
4.3. Caracterizar fisicoquímicamente el biofertilizante obtenido.....	36
4.4. Comparar el fertilizante obtenido con un fertilizante comercial.....	38
4.5. Estimar la relación beneficio-costos del posible aprovechamiento de la gallinaza....	39
Conclusiones y recomendaciones.....	42
Conclusiones.....	42
Recomendaciones.....	42
Referencias bibliográficas.....	43
Apéndice a. Datos recolectados.....	47
Apéndice b. Cálculos típicos.....	51
Apéndice c. Curvas de calibración.....	59
Anexos.....	61

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla 2.1. Caracterización de la gallinaza proveniente de gallinas ponedoras de jaula.
- Tabla 4.1. Características fisicoquímicas de las muestras de gallinaza.
- Tabla 4.2. Parámetros establecidos para la obtención de biofertilizante
- Tabla 4.3. Características fisicoquímicas del biosol obtenido.
- Tabla 4.4 Características fisicoquímicas del biofertilizante comercial
- Tabla 4.5. Características del proceso de germinación de las caraotas negras (*Phaseolus vulgaris*).
- Tabla 4.6. Costos y beneficios asociados a la obtención de un biofertilizante.
- Tabla A.1.1 Valores obtenidos en la determinación del grado de acidez en la muestra de gallinaza.
- Tabla A.1.2 Variables necesarias para la determinación de la humedad en la muestra de gallinaza.
- Tabla A.1.3 Variables necesarias para la construcción de curvas de calibración y determinación del calcio (CaO) en la muestra de gallinaza.
- Tabla A.1.4 Variables necesarias para la construcción de curvas de calibración y determinación del magnesio (MgO) en la muestra de gallinaza.
- Tabla A.1.5 Variables necesarias para la construcción de curvas de calibración y determinación del potasio (K₂O) en la muestra de gallinaza.
- Tabla A.1.6 Variables necesarias para la construcción de curvas de calibración y determinación del zinc en la muestra de gallinaza.
- Tabla A.2. Parámetros obtenidos durante la digestión anaerobia.
- Tabla A.3. Valores obtenidos en la determinación del grado de acidez en el biosol.
- Tabla A.4. Parámetros analizados en la germinación de las caraotas negras (*phaseolusvulgaris*).
- Tabla A.5.1 Costos y especificaciones de los equipos involucrados.
- Tabla A.5.2 Tasa de cambio manejada por el Banco Central de Venezuela, para la determinación de los costos asociados al proyecto en septiembre 2018.
- Tabla A.5.3 Salario del personal involucrado en el proceso.
- Tabla B.5.1. Costos asociados a la mano de obra empleada.
- Tabla B.5.2. Costos relacionados a los ensayos de caracterización.
- Tabla B.5.3 Costos por envasado de producto.
- Tabla B.5.4. Proyección de costos y beneficios durante 5 años de producción.

ÍNDICE DE FIGURA

- Figura 2.1. Esquema de la digestión anaeróbica de materia orgánica compleja.
- Figura 2.2. Reacciones en la digestión anaeróbica.
- Figura 2.3. Comportamiento de los microorganismos anaerobios de acuerdo a la temperatura.
- Figura 2.4. Composición elemental promedia de las plantas.
- Figura 3.1. Recolección de la muestra de gallinaza en la granja de gallinas ponedoras.
- Figura 3.2. Depuración y tamizado de la muestra de gallinaza.
- Figura 3.3. Tratamiento y filtrado de la muestra.
- Figura 3.4. Bloque digestor (izquierda) y destilador de vapor (derecha).
- Figura 3.5 Pesado y secado de la muestra de gallinaza.
- Figura 3.6. Realización de las muestras patrones y medición en el equipo Perkin-elmer 3100.
- Figura 3.7. Prototipos de biodigestor vacíos (izquierda). Prototipo de biodigestor cargado y cerrado herméticamente (derecha).
- Figura 4.1. Comportamiento del pH durante el proceso de biodigestión.
- Figura 4.2. Comportamiento de la temperatura durante el proceso de biodigestión.
- Figura 4.3. Esquema del proceso de producción de un biofertilizante.
- Figura C.1: Curva de calibración de la absorbancia en función de la concentración del calcio.
- Figura C.2: Curva de calibración de la absorbancia en función de la concentración del magnesio.
- Figura C.3: Curva de calibración de la absorbancia en función de la concentración del zinc.
- Figura C.4: Curva de calibración de la absorbancia en función de la concentración del potasio.
- A.1. Hoja de especificaciones de los ensayos realizados en Laboratorio Ambiental Aragua de la Dirección Estatal para el Eco-socialismo.
- A.2. Hoja de especificaciones de los ensayos realizados en Laboratorio Ambiental Aragua de la Dirección Estatal para el Eco-socialismo (continuación).
- A.3. Características fisicoquímicas del agua destilada.
- A.4. Plántula de la maceta 1 transcurridos los 15 días.
- A.5. Plántula de la maceta 1.
- A.6. Plántula de la maceta 2 transcurridos los 15 días.
- A.7. Plántula de la maceta 2.

INTRODUCCIÓN

La avicultura es una de las ramas de producción animal más desarrolladas, puesto que la carne y huevos de pollos y gallinas, son productos alimenticios asequibles y de calidad consumidos por la mayoría de las poblaciones y etnias mundiales. La producción de aves de corral genera residuos derivados de la incubación, la gallinaza y la mortalidad en la granja. La mayoría de estos desechos pueden proporcionar nutrientes orgánicos e inorgánicos de valor si se gestionan correctamente; de lo contrario, pueden ser potenciales contaminantes del agua, el aire y el suelo, así como también ser generadores de riesgos para la salud humana (FAO 2013).

Haciendo énfasis en la gallinaza, la producción de la misma aumenta al aumentar la población de animales; es por ello, que resulta necesario implementar alternativas para mitigar el impacto de dicho residuo y de allí nace la idea de aprovechar los desechos avícolas generados en el Fundo Agropecuario “Piedras azules” mediante la elaboración de un biofertilizante, teniendo en cuenta además, de acuerdo a reportes bibliográficos, que la composición de la misma la hace apta para dicho fin.

En virtud de lo antes mencionado, se propuso la caracterización de la muestra de gallinaza realizando ensayos para la determinación de nitrógeno, fósforo, potasio, carbono, calcio, magnesio y zinc, así como la medición de pH y humedad; además se establecieron el tiempo de retención, la relación carbono/nitrógeno y la relación materia orgánica-agua como los parámetros necesarios para llevar a cabo el proceso de digestión anaerobia. Posterior a la biodigestión se caracterizaron los parámetros de la materia prima y se comparó con un biofertilizante comercial. Para finalizar, se hizo un análisis económico mediante la relación beneficio/costo para la implementación del proceso de producción de biofertilizante.

Con esta investigación, se pretende conseguir una opción que ayude a disminuir el impacto que genera la gallinaza como desecho cuando a esta no se le da un manejo adecuado, así como también, favorecer económicamente a la empresa para que aproveche los residuos avícolas como materia prima en la generación de abono.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este apartado se presenta una descripción general de la problemática presente y algunos tópicos que contribuyen en la solución de esta. Además se expone la situación actual y deseada del área en estudio, los objetivos generales y específicos que dirigen la investigación; y por último, se indican las razones de utilidad y las limitaciones que puedan suscitarse en el desarrollo del trabajo investigativo.

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

En el año 2002, en el sector Parapara del municipio Juan Germán Roscio del estado Guárico, se fundó la Agropecuaria “Piedras Azules”, la cual limita con San Juan de los Morros y el municipio Ortíz. En la actualidad está conformada por 70 trabajadores, distribuidos en 300 hectáreas, asignados en distintas áreas como lo son, producción avícola, agrícola, productos lácteos, carne de vacuno, y porcino. El sistema avícola está constituido por cuatro galpones, de los cuales sólo uno se encuentra habitado en la actualidad, y en el cual se alojan 39.000 gallinas, distribuidas en 9 filas de jaulas, con sus respectivos canales inferiores de cemento en los cuales se depositan los excrementos de las gallinas. Estos excrementos reciben el nombre de gallinaza.

Es de resaltar, que en la Agropecuaria “Piedras Azules” existen diferentes fuentes de generación de desechos orgánicos, tanto vegetales como animales, tales como: restos de la poda de plantas, desechos de las aves, entre otros. Sin embargo, el interés de nuestra investigación se centra en los desechos provenientes del proceso de crianza avícola, los cuales están constituidos por la gallinaza (excrementos de las gallinas) que se encuentra mezclada con plumas de aves y cáscara de huevos, que se sitúa en los canales inferiores de las jaulas de crianzas.

Ahora bien, la avicultura es una de las ramas de la producción animal de mayor importancia a nivel mundial, debido a que contribuye a satisfacer las necesidades proteicas de la población. En los últimos años se ha incrementado la producción anual de gallinas, lo que ha generado como consecuencia un aumento en la cantidad de gallinaza. El principal uso que se le da a este desecho es como fertilizantes orgánicos, además de ser utilizado como ingrediente en las dietas para animales de granjas y como sustrato para la generación de metano.

En Venezuela, el interés del sector avícola se enfoca en la producción de gallinas para el consumo humano, y la manipulación de los desechos generados no es un tema de interés, sino que por contrario es obviado y muchas veces termina causando afecciones a las comunidades adyacentes a los centros de producción. En el estado Guárico, se evidencia una notoria falla en el servicio de recolección de residuos orgánicos, observándose apilamientos en terrenos baldíos y en otros casos, quema indiscriminada de estos, generalmente producto del desconocimiento de opciones alternas que resultan ser menos contaminantes.

Con respecto a la gallinaza que proviene de la cría de gallinas para la producción de huevos, ésta posee alto contenido de humedad, altos niveles de nutrientes (como nitrógeno, presente en forma de amonio y/o amoniaco; fósforo y potasio), cantidades variables de sulfuros, sulfatos y minerales. Diversos autores han estimado que cada 24 horas una gallina produce entre 135 y 150 g de excretas; la cantidad y características dependen de la especie, la edad, la dieta y la salud de las aves (Collins et al. 1999; Sims y Wolf, 1994).

En el mismo orden de ideas, los biofertilizantes se originan a partir de la fermentación de materiales orgánicos, como estiércoles de animales, plantas verdes y frutos. La fermentación puede ocurrir con la presencia de oxígeno, caso en el cual se llama aeróbica o sin su presencia, denominada anaeróbica. Los abonos orgánicos, por las propias características en su composición enriquecen al suelo, modificando algunas propiedades con su reacción (pH), disponibilidad del fósforo, calcio, magnesio y potasio, haciéndolo eficaz para el buen desarrollo y rendimiento de los cultivos.

Dicho de otro modo, los residuos orgánicos que se incorporan al suelo son sometidos a diversos procesos de alteración dando como resultado productos o biofertilizantes de diferentes composición química. La transformación de éstos conlleva a la realización de algunas técnicas, como la implementación de un biodigestor para producir biogás y bioabono. Un biofertilizante debe contener elementos primarios como el nitrógeno que permite a las plantas librarse de las enfermedades del suelo, el fósforo el cual favorece el crecimiento rápido de las raíces y tallos, y por último el potasio le provee resistencia y robustez a la planta.

En virtud de lo señalado anteriormente se pretende buscar una alternativa para aprovechar los desechos orgánicos avícolas generados en la Agropecuaria “Piedras Azules”, teniendo en cuenta que en la composición química de la gallinaza, están disponibles los elementos requeridos para la elaboración de un biofertilizante.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La producción de desechos orgánicos ha aumentado notoriamente, generando gran preocupación por los efectos contaminantes que estos generan al ambiente. Por su parte el Fundo Agropecuario “Piedras Azules”, produce elevadas cantidades de desechos avícolas, debido a la cría de gallinas ponedoras; por ello se plantea emplear dichos residuos para la elaboración de un biofertilizante. En este sentido, surge la interrogante: ¿Es la elaboración de un biofertilizante una alternativa para el aprovechamiento de los desechos avícolas generados en el Fundo Agropecuario Piedras Azules?

1.2.1. Situación actual

En la actualidad la Agropecuaria “Piedras Azules”, en el galpón de gallinas ponedoras que se encuentra en funcionamiento, la cantidad de excretas producidas por las aves es elevada. Estas defecaciones se aglomeran debajo de las jaulas, para luego ser recolectadas por la mano obrera, depositadas en grandes contenedores y llevadas a un terreno baldío donde son abandonadas, permitiendo su descomposición.

De continuar dicha situación la proliferación de malos olores aumentará y por ende la reproducción de insectos, lo que afecta directamente a la comunidad, además de la contaminación de las aguas y tierras que entren en contacto con dichos desechos, aumentando así la contaminación ambiental.

1.2.2. Situación deseada

La Agropecuaria “Piedras Azules” entre otras de sus actividades desea elaborar un biofertilizante con los desechos avícolas allí generados como materia prima, lo que además de ser una alternativa rentable es también ecológico.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el aprovechamiento de los desechos orgánicos de la granja avícola en la Agropecuaria “Piedras Azules” para la obtención de un biofertilizante.

1.3.2. Objetivos específicos

1. Determinar las características fisicoquímicas de muestras de gallinaza recolectadas.
2. Establecer los parámetros para la obtención del biofertilizante, según las características de la gallinaza.
3. Caracterizar fisicoquímicamente el biofertilizante obtenido.
4. Comparar el fertilizante obtenido con un fertilizante comercial.
5. Estimar la relación beneficio-costos del posible aprovechamiento de la gallinaza.

1.4. JUSTIFICACIÓN Y ALCANCE

El presente trabajo de grado tiene gran relevancia socio ambiental porque implica la transformación de un recurso que es considerado un desecho como lo es la gallinaza, en un biofertilizante que es un producto ecológico, mitigando el impacto ambiental negativo que esta puede ocasionar cuando no se procesa.

Además, los resultados de esta investigación se enmarcan dentro de los planes desarrollados por el Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Aguas, la Fundación Misión Árbol y la Compañía Nacional de Reforestación; entre dichos proyectos se encuentra la captación de desechos orgánicos producidos por animales y humanos para la elaboración de un biodigestor, que sirva como generador de energía y además de abono, todo esto como un aprovechamiento de la naturaleza con recursos localmente disponibles para la cosecha de rubros.

Su elaboración no generaría costos mayores a los invertidos en la fabricación de los biofertilizantes comerciales, ya que no requeriría de energía para su procesamiento y la materia prima no tiene valor comercial alguno, lo que proporciona una ventaja para el desarrollo de este proyecto. Además, considerando que es una alternativa aplicable, si la empresa decide implementarla dentro de sus actividades, entonces el desecho transformado en un producto podrá tener un valor económico neto, que representará una fuente de ingreso adicional para la compañía; al mismo tiempo que reduce los riesgos de enfermedades a los trabajadores y a la población que la rodea.

En el aspecto académico, la realización de esta investigación ayudará a afianzar conocimientos relacionados con el tema y la enseñanza adquirida a lo largo de la carrera universitaria; aportando también información para la documentación de nuevas tecnologías en la obtención de biofertilizantes.

Por último es conveniente acotar, que aunque en el proceso de biodigestión que se llevara a cabo se obtienen como productos biogás, biosol y biol, la presente investigación se enfocara en el estudio del biosol con el fin de ampliar la información conocida del mismo, teniendo en cuenta que gran parte de las bibliografías orientan sus estudios en la producción del biol y el biogás.

CAPÍTULO II. MARCO REFERENCIAL

Esta sección brinda información de investigaciones, trabajos especiales de grado y proyectos ya realizados que guardan relación con el tema en estudio, permitiendo afianzar con bases teóricas el desarrollo de los objetivos planteados en el presente trabajo.

2.1 ANTECEDENTES

Núñez, A. & A. Rodríguez, (2016), en su investigación titulada: **“Obtención de un fertilizante basado en el fosfito diácido de potasio mediante el uso de diferentes agentes reductores”**, plantearon como objetivo fundamental obtener un fertilizante basado en el fosfito diácido de potasio mediante el uso de diferentes agentes reductores. Se propusieron diferentes parámetros de estudios con la finalidad de seleccionar los agentes reductores más apropiados y alternativas tecnológicas para la obtención del fertilizante. Posteriormente se establecieron condiciones operacionales, se determinaron las características fisicoquímicas del producto y finalmente se realizó un estudio costo-beneficio de la alternativa seleccionada.

La principal diferencia de éste trabajo con el actual es la materia prima a utilizar, por esta razón la metodología empleada y las condiciones de operación no son necesariamente las mismas. Sin embargo, guardan relación en la aplicación de una técnica estadística en el análisis de datos experimentales al fertilizante obtenido, pero éste de la presente investigación es de tipo orgánico.

Medina, J. & B. Paricaguán, (2013), en su trabajo de investigación citado **“Caracterización química de tres residuos orgánicos provenientes del hipódromo nacional de Valencia”**, desarrollaron la caracterización de tres tipos de residuos orgánicos que se producen en el Hipódromo Nacional de Valencia (HINAVA): estiércol de equino, residuo verde fresco y residuo verde seco, con la finalidad de sugerir su transformación en acondicionadores o mejoradores de los suelos de uso agrícola, minimizando así los efectos nocivos para el equilibrio ambiental. En la evaluación de los residuos se realizaron análisis fisicoquímicos en los que se determinó el contenido de elementos primarios, secundarios, micronutrientes, metales pesados y carbono orgánico, así como también se cuantificó el contenido de humedad y pH. Se concluyó por medio de valores obtenidos que se encuentran entre los reportados en la literatura, la efectiva recomendación de estos residuos para el enriquecimiento del suelo.

La diferencia más evidente del trabajo de referencia con el actual, es la utilización de la materia prima a analizar, implementando en el trabajo anterior residuos orgánicos de origen animal y vegetal, mientras que en el presente sólo se empleara de origen animal, cambiando así las condiciones de operación y manejo del desecho.

Carhuanchu, F, (2012), en su trabajo de grado señalado **“Aprovechamiento del estiércol de gallina para la elaboración de biol en biodigestores tipo batch como propuesta al manejo de residuo avícola”**, expuso el proceso de digestión anaeróbica en biodigestores tipo batch, el monitoreo de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de tres sustratos: estiércol de gallinas en piso, en jaula y la mezcla de ambas para determinar la calidad del biol obtenido. El montaje del biodigestor se dimensionó a nivel de laboratorio, representado por un envase de plástico completamente sellado que posee una válvula donde se descarga del biol y una bolsa recolectora del biogás ubicada en la parte superior de recipiente. Las características analizadas del biol obtenido se encuentran entre los valores bibliográficos que describen al abono orgánico. El trabajo de referencia establece unos parámetros diferentes en el diseño de la elaboración del biodigestor tipo batch, así como también las dimensiones y capacidad es de menores proporciones, por tanto la carga del reactor difiere con respecto al trabajo especial de grado actual, cambiando así las condiciones de operación.

Acín, R, (2011), en su investigación titulado **“Evaluación de diferentes tipos de fertilizantes químicos y orgánicos en la producción de frijol (*Phaseolus vulgaris* L. var. *Alubia*) en el distrito de San Juan de Castrovirreyna-Huancavelica (Perú)”**, propuso el estudio del cultivo de frijol utilizando diferentes tipos de fertilizantes minerales y orgánicos para comprobar cuales producen los mejores rendimientos, originando un mayor beneficio para el agricultor. Durante el manejo del cultivo se llevó a cabo un seguimiento en cuanto a plagas, enfermedades, condiciones climáticas que limitan los tratamientos fitosanitarios y riesgos necesarios. Al final del cultivo se realizó la cosecha, se hicieron muestreos, tales como altura y peso fresco de planta, pretendiendo producir una mejora en el cultivo de frijol, que lleve a los agricultores un aumento de sus ingresos.

La investigación antes mencionada evalúa diferentes fertilizantes en un cultivo en específico para evaluar condiciones de mejoras y lograr un mayor desarrollo, de esta manera difiere en la investigación actual ya que no se comprobará por medio de cultivo el rendimiento de un biofertilizante, se hará conociendo las características fisicoquímicas y haciendo una comparación con un producto comercial.

Pontón, R, (2010), en su investigación denominada **“Diseño de un sistema para la obtención del biol mediante residuos sólidos orgánicos generados en el cantón Joya de los Sachas”**, propuso el diseño para obtener abono líquido (biol) a partir de residuos sólidos orgánicos, con la finalidad de reducir la contaminación en el cantón Joya de los Sachas. El sistema consta de cinco biodigestores conectados en serie para la salida del biogás, resultante de la descomposición de residuos orgánicos domésticos (digestión anaeróbica), controlándose la temperatura diariamente y la acidez cada tres días. Luego de un tiempo de retención de 28 días

se realizaron los análisis fisicoquímicos al biol obtenido para determinar la eficiencia tanto de cantidad como calidad, presentando características óptimas para su implementación como biofertilizante.

La diferencia más resaltante de este trabajo de investigación, con el de referencia, es el tiempo de retención que se establece mientras ocurre el proceso de fermentación, por tanto, las condiciones del sistema no son las mismas, además la materia prima a utilizar varía en su composición.

Cordero, I, (2010), en su trabajo especial de grado titulado **“Aplicación del biol a partir de residuos: ganaderos, de cuy y gallinaza, en cultivos de *raph.anus sativus l* para determinar su incidencia en la calidad del suelo para agricultura”** implementó un abono líquido en cultivos de *raph.anus sativus l*, elaborados a partir de residuos orgánicos ganaderos, de cuy y gallinaza. Este cultivo necesita de elementos nutritivos fácilmente asimilables como lo son los elementos primarios, existentes en los desechos orgánicos utilizados para la implementación del biol. El empleo del bioabono en el sembrado fue satisfactorio, siendo un aporte para el desarrollo de la agricultura, sumado a eso una alternativa para el manejo de residuos de cuy, ganaderos y aves disminuyendo contaminación al medio ambiente.

El trabajo de referencia tenía como objetivo principal obtener un biofertilizante a partir de residuos ganaderos, de cuy y gallinaza, para ser implementado en un cultivo en específico, mientras que el trabajo actual el producto obtenido tendrá las características fisicoquímicas adecuadas para la utilidad de diversos rubros. No obstante, las condiciones de operación establecidas difieren.

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1. Actividad avícola

La actividad avícola, comprende a la crianza de aves como animales domésticos y protección de su hábitat. Esta actividad utiliza con eficiencia los recursos locales, requiere pocos insumos y hace importantes contribuciones de carácter económico. En muchos países, la producción avícola reposa sobre la cría extensiva tradicional, donde la utilización de insumos y los niveles de producción son limitados. Desde hace siglos, esta actividad es un componente de las pequeñas explotaciones y ella permanecerá como tal en el futuro pre-visible (FAO, 2005).

La producción avícola genera desperdicios con alto contenido de nutrientes y material orgánico, que causan contaminación de suelos y aguas, emiten olores desagradables y altas concentraciones de gases, además de propiciar la proliferación de vectores y microorganismos patógenos; todo ello con un impacto negativo al ambiente (Estrada, 2005).

Gallinaza

La gallinaza es el excremento de las gallinas, obtenida principalmente en las explotaciones de jaula, combinada con plumas, residuo de alimento y huevos rotos, que caen al piso y se mezclan. Este tipo de gallinaza tiene un alto contenido de humedad y altos niveles de nitrógeno, que se volatiliza rápidamente, creando malos y fuertes olores, perdiendo calidad como fertilizante. Para solucionar este problema es necesario someter la gallinaza a secado, que además facilita su manejo (Estrada, 2005).

Su principal aporte, consiste en algunos nutrientes, principalmente el fósforo, potasio, calcio, magnesio, manganeso, zinc, cobre y boro. Dependiendo de su origen, puede aportar otros materiales orgánicos en mayor o menor proporción, los cuales mejorarían las condiciones físicas del suelo (Restrepo, 2001).

Características fisicoquímicas de la gallinaza

Respecto a la composición de la gallinaza, es difícil establecer una regla con precisión ya que influye el tipo de alimentación, crianza, edad, tiempo de permanencia y clima. Aun así, se estima que cada gallina produce entre 150 g/día aproximadamente (Carhuacho, 2012).

La gallinaza está constituida por:

- Macronutrientes o elementos primarios: Nitrógeno, potasio y fósforo
- Micronutrientes o elementos secundarios: Calcio y magnesio.
- Microelementos o micronutrientes: Manganeso, zinc, cobre, boro (FAO, 2002).

Algunos de los anteriores se mencionan a continuación, representados en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Caracterización de la gallinaza proveniente de gallinas ponedoras de jaula

pH	6.8
Materia Orgánica (%)	64.7
C/N	20.15
N (%)	1.74
P ₂ O ₅ (%)	4.18
K ₂ O	3.79
CaO (%)	8.90
MgO (%)	2.90

Fuente: (Doñate, 2013 citado por Labrador, 2002).

Ensayos para la caracterización de la gallinaza

Determinación del potencial de hidrógeno (pH):

La lectura de pH se representa la concentración de iones hidrógeno activos (H^+) que se da en la interface líquida del suelo, por la interacción de los componentes sólidos y líquidos. La concentración de iones hidrógeno es fundamental en los procesos físicos, químicos y biológicos del suelo. El valor de pH es el logaritmo del recíproco de la concentración de iones hidrógeno, que se expresa por números positivos del 0 al 14 (Fernández, 2006). El pH es determinado por un pH-metro, el cual mide la diferencia de voltaje en una disolución, que junto con los electrodos, al ser sumergidos en una sustancia, generan una corriente eléctrica, esta corriente eléctrica dependerá de la concentración de iones de hidrógeno que presente la solución (Valderrama, 2017).

El pH es un indicador del proceso del trabajo microbiano y tiende a ser neutro por efecto de la aireación y maduración de la masa en fermentación (Estrada, 2005). La gallinaza puede aumentar el pH de los suelos ácidos y puede disminuir el pH de suelos alcalinos, esto ayuda a la fertilidad del suelo y la disponibilidad de nutrientes para los cultivos (Montalvo, 2008).

El valor del pH óptimo esta entre 6.5 y 8.0. Si el grado de descomposición no es adecuado, el pH puede caer a valores entre 4 – 5, retrasándose el proceso. Valores de pH inferiores a 5,5 (ácidos) y alcalinos superiores a 9,5 inhiben el crecimiento de la gran mayoría de microorganismos, en este último valor se precipita nutrientes esenciales del medio que no son asequibles para los microorganismos (Montalvo, 2008).

Determinación de humedad:

Refiere a la cantidad o porcentaje de agua que posee una muestra, por lo que la medición de humedad se realiza sólo en función de agua que retiene la gallinaza. El método utilizado para esta medición es el gravimétrico que tiene como fundamento calcular la diferencia de peso entre una misma muestra húmeda, y después de haberse secado obtener un peso constante (Fernández, 2006). La gallinaza seca representa una humedad del 60 al 80% (Carhuancho, 2012).

Determinación de Nitrógeno total por el método de Kjeldahl:

El método Kjeldahl se basa principalmente por la digestión la muestra, sometida a calentamiento con ácido sulfúrico concentrado y una mezcla de sales que aceleran y facilitan tanto la oxidación de la materia orgánica como la conversión de todas las formas de nitrógeno en N^{+3} , que en medio ácido se encuentran en forma de radical amonio (NH_4^+); es decir, se llevan las formas orgánicas a formas minerales de nitrógeno. Una vez transformado el nitrógeno en

NH_4^+ , se expone a una base fuerte como el hidróxido de sodio para formar hidróxido de amonio, que por la acción del calor se descompone en amoníaco (NH_3) y agua. El amoníaco desprendido por la reacción se recoge en un volumen conocido de solución valorada de ácido bórico y por comparación con un blanco se determina la cantidad de ácido que reaccionó con el NH_3 (Fernández, 2006).

En el caso de las gallinas, las deyecciones son una mezcla entre sólido y líquido, lo que hace que el contenido de nitrógeno sea especialmente alto aproximadamente un rango del (2-3) %. Este nitrógeno está en su mayor parte en forma de amonio, que es muy volátil (al convertirse en amoníaco) y que es el causante de fuerte olor de este estiércol haciéndolo muy característico (Tortosa, 2012).

Determinación de Carbono total por el método volumétrico:

La determinación de carbono total se basa en una oxidación incompleta de carbono orgánico por una mezcla oxidante de dicromato de potasio valorado y ácido sulfúrico concentrado, acentuada por el calor de dilución acuosa del ácido sulfúrico (110- y 130°C); la cantidad de agente oxidante consumido reducido (dicromato de potasio) se determina mediante una titulación con sulfato ferroso amoniacal, valorada en presencia de un indicador de ferroína (FONAJAP, 1990).

Técnicas para la caracterización de la gallinaza

Espectrometría de absorción atómica (AAS)

Se basa principalmente en la absorción de radiación de una longitud de onda determinada. Esta radiación es absorbida selectivamente por átomos que tengan niveles energéticos cuya diferencia en energía corresponda en valor a la energía de los fotones incidentes. La cantidad de fotones absorbidos, está determinada por la ley de Beer, que relaciona ésta pérdida de poder radiante, con la concentración de la especie absorbente y con el espesor de la celda o recipiente que contiene los átomos absorbedores (Cortés, 2013).

Es un método de la química analítica cuantificable, idóneo para la determinación de un gran número de elementos, entre los cuales Ca, Mg, Zn, K. En la composición de la gallinaza el calcio está representado en forma de CaO , encargado del crecimiento de las raíces, constituido por un rango de (7-8) %, estando en mayor proporción en comparación que MgO y K_2O , que constituyen un porcentaje de 2.5 y 4 respectivamente (Doñate, 2013).

Espectrometría de absorción molecular (UV- Vis)

La espectrofotometría ultravioleta-visible implica la espectroscopia de fotones en la región de radiación UV-visible. Utiliza la luz en los rangos visibles y adyacentes a los espectros

ultravioleta e infrarrojo. En esta región del espectro electromagnético, las moléculas se someten a transiciones electrónicas de los sistemas conjugados y proporciona información sobre el tamaño y la estructura de la parte conjugada de la molécula. La espectrometría UV-visible se utiliza habitualmente en la determinación cuantitativa de soluciones de iones metálicos de transición y compuestos orgánicos muy conjugados. (Tablante, L, & G, Rodríguez, 2018 citado por Pérez, 2014).

Para determinar el fósforo total, fundamentado en la radiación UV-visible, el método se basa en la digestión capaz de romper los enlaces C-P y C-O-P y además solubilizar el material suspendido para liberar el fósforo como ortofosfato soluble. El molibdato de amonio y el tartrato de antimonio y potasio reaccionan en medio ácido con soluciones diluidas de ortofosfato para formar complejo fosfomolibdato. Este complejo es reducido por el ácido ascórbico dando una coloración azul. Es necesario considerar que a altas concentraciones de fósforo incrementan la susceptibilidad de las plantas a enfermedades virales, por lo que la gallinaza posee un porcentaje de 2 al 4 % (Cardoso, 2016).

Manejo de la Gallinaza

Dentro de los diferentes sistemas de producción avícola, se debe contemplar un plan de manejo adecuado de los desechos, para que en vez de generar contaminación ambiental, se conviertan en una fuente de ingresos, que permita a los productores avícolas contemplar la posibilidad de buscar alternativas económicas para el uso y manejo eficiente de la gallinaza (Estrada, 2005).

Alternativas de implementación de la gallinaza

Alimento para ganado:

La utilidad de la gallinaza para tal fin proviene de su elevado valor de nitrógeno, tomando en cuenta que éste en su mayor parte se halla en forma no proteica, principalmente es rico, y por consiguiente, resulta de poca utilidad para los animales monogástricos, aunque no para los rumiantes. El elevado valor nitrogenado para la gallinaza desecada, equivaldría a un nivel proteico del orden de un 22 a 34%, de igual manera que su elevado contenido de materia orgánica, cerca del 70%, le aseguraría un valor energético.

Biofertilizantes:

La utilidad de la gallinaza, en cualquiera de sus formas, proviene de su aporte al suelo de materia orgánica, con lo cual aumenta su capacidad de retención de agua, así como por ser fuente muy rica en elementos nutritivos para las plantas. El uso de la gallinaza como abono es la opción más ventajosa para su empleo, tanto porque constituye una forma de reciclaje natural por su bajo

costo. Pero el uso de gallinazas frescas, puede producir efectos adversos al suelo y plantas, por ello se recomienda el procesamiento de ésta.

Producción de biogás:

Al igual que cualquier otra materia orgánica, la gallinaza, al fermentar, produce gases, de los cuales los más importantes son el metano y el dióxido de carbono. En condiciones óptimas, si la proporción del primero es al menos del orden de un 60-70% del total, ello constituye el llamado biogás, producto que en teoría, puede servir como fuente de energía de las propias granjas. En síntesis, el proceso se basa en poner las excreciones, sin cama, en un digestor o tanque hermético en el cual se produce la degradación de la materia orgánica en un medio anaerobio mediante la acción de enzimas segregadas por microorganismos (Estrada, 2005).

Problema Ambiental generado por la gallinaza

El agua, el suelo y el aire son recursos naturales esenciales que dan vida y deben ser protegidos. Desafortunadamente hay áreas en diversas partes del mundo donde estos recursos están contaminados. El incremento en el número de animales y la regionalización de las producciones han generado fuertes presiones sobre los productores de aves porque si las operaciones de producción no son manejadas adecuadamente, la descarga de nutrientes: materia orgánica, patógenos y emisión de gases a través de los desechos pueden causar significativa contaminación al ambiente.

La industria avícola si bien no es, según las estadísticas, la mayor contaminante con desechos orgánicos, no puede ser causa de complacencia porque cualquier producto de la excreción orgánica si se presenta en cantidades suficientes puede tener serias consecuencias ambientales. Estas excretas, tienen compuestos como nitrógeno gaseoso, el cual es desprendido de la volatilización provocando olores desagradables, mientras que los productos sólidos de la excreción son aquellos asociados con ineficiencia digestiva y aquellos de origen metabólico, o sea por la contribución de los dos procesos básicos (digestión y metabolismo). El mayor problema es, sin duda, el olor que causa un verdadero perjuicio a las personas que habitan en las proximidades (Lon-Wo, 2001).

En términos ambientales, uno de los grandes problemas de la industria avícola, es la creciente emisión de residuos orgánicos al ambiente, lleva a que las empresas busquen alternativas que le permitan conseguir y demostrar un manejo ambiental acorde con las actividades desarrolladas, y así, dar cumplimiento a las normas ambientales existentes. Por tal motivo, se hace necesario concientizar a las empresas avícolas acerca de la urgente implementación de programas de manejo ambiental (Cardona, 2015).

2.2.2. Digestión Anaerobia

Fundamentos

La digestión anaerobia es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases conocida como biogás que puede ser usado como fuente de energía, y a una suspensión acuosa o lodo que contiene los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica y que es llamado biol, el cual se utiliza como acondicionador de suelos por sus propiedades físico químicas. La materia prima preferentemente utilizada para ser sometida a este tratamiento es cualquier biomasa residual que posea un alto contenido en humedad, como restos de comida, residuos ganaderos o restos vegetales (Lorenzo, 2005).

Los estudios bioquímicos y microbiológicos realizados hasta ahora, dividen el proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica en cuatro fases o etapas: hidrólisis, etapa fermentativa o acidogénica, etapa acetogénica y etapa metanogénica. La primera fase es la hidrólisis de partículas y moléculas complejas (proteínas, carbohidratos y lípidos) que son hidrolizadas por enzimas extracelulares producidas por los microorganismos acidogénicos o fermentativos. Como resultado se producen compuestos solubles más sencillos (aminoácidos, azúcares y ácidos grasos de cadena larga) que serán metabolizados por las bacterias acidogénicas dando lugar, principalmente, a ácidos grasos de cadena corta, alcoholes, hidrógeno, dióxido de carbono y otros productos intermedios. Los ácidos grasos de cadena corta son transformados en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono, mediante la acción de los microorganismos acetogénicos. Por último, los microorganismos metanogénicos producen metano a partir de ácido acético, H_2 y CO_2 (Vamero, 2011)

Las especies de microorganismos involucrados en el proceso varían dependiendo de los materiales que serán degradados. Tradicionalmente la degradación anaeróbica ha sido considerada como un proceso que acepta la existencia de tres grandes grupos bacterianos: las bacterias formadoras de ácidos (o acidogénicas), las formadoras de acetatos (o acetogénicas) y finalmente las formadoras de metano (o metanogénicas). En la primera y segunda fase de la degradación, participan bacterias de al menos 128 órdenes de 58 especies y 18 géneros. Las especies que se presentan principalmente son *Clostridium*, *Ruminococcus*, *Eubacterium* y *Bacteroides*. En la tercera y cuarta fase de la degradación, se encuentran principalmente bacterias metanogénicas. En la actualidad, se han identificado 81 especies, de 23 géneros, 10 familias y 4 órdenes. Las etapas bioquímicas y las poblaciones microbianas implicadas en el proceso anaeróbico se esquematizan en la Figura 2.1

Fases de la digestión anaerobia

Hidrólisis: La materia orgánica polimérica no puede ser utilizada directamente por los microorganismos a menos que se hidrolicen en compuestos solubles, que puedan atravesar la pared celular. La hidrólisis es el primer paso necesario para la degradación anaeróbica de sustratos orgánicos; en esta etapa los compuestos de mayor peso molecular son transformados o degradados en compuestos de menor peso molecular o menos complejos (monómeros), como el caso de la transformación de azúcares, alcoholes, ácidos grasos, entre otros (Inca, 2016). Los microorganismos encargados de esta etapa son de género muy variado, entre estos destacan los Bacteroides, Lactobacillus, Propioni- bacterium, Sphingomonas, Sporobacterium, Megaspheera, Bifidobacterium (Vamero, 2011).

Esta etapa es importante en la estabilización anaeróbica ya que suministra los compuestos orgánicos necesarios, que pueden ser utilizados por las bacterias responsables de las etapas posteriores.

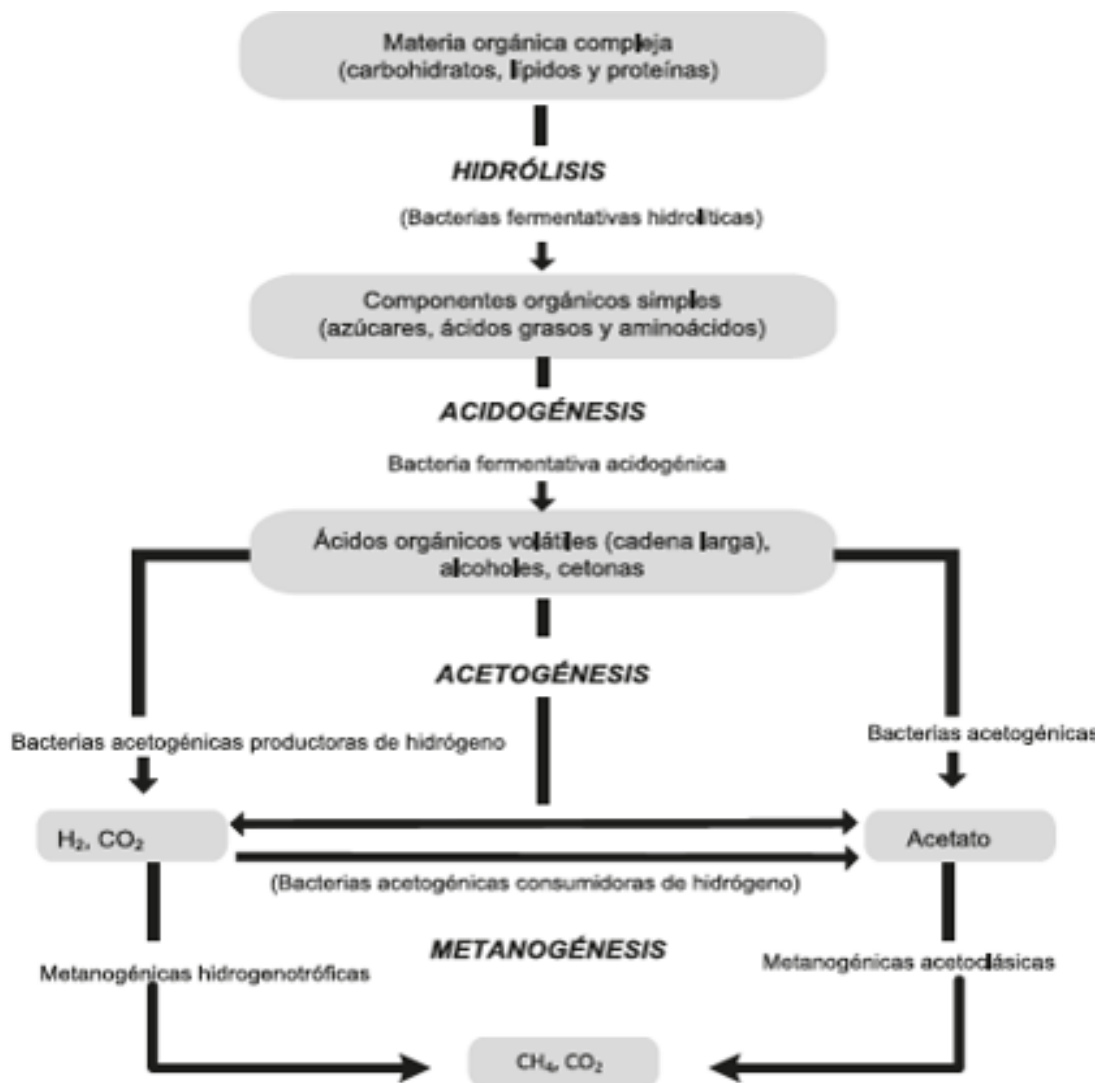


Figura 2.1. Esquema de la digestión anaeróbica de materia orgánica compleja (Parra, 2015)

Acidogénesis: Los monómeros producidos en la fase hidrolítica son absorbidos por diferentes bacterias facultativas y obligatorias, se degradan en ácidos orgánicos de cadena corta como ácido butírico, propiónico, acético, hidrógeno y dióxido de carbono (Arango & Sánchez, 2009 citado por Parra, 2015). La concentración de hidrógeno formado como producto intermedio en esta etapa influye en el tipo de producto final formado durante el proceso de fermentación. Por ejemplo, si la presión parcial de hidrógeno fuera demasiada alta, esta podría disminuir la cantidad de componentes reducidos. En general, durante esta fase, azúcares simples, ácidos grasos y aminoácidos son convertidos en ácidos orgánicos y alcoholes.

La mayoría de los microorganismos acidogénicos también participan de la hidrólisis. El género *Clostridium*, *Paenibacillus* y *Ruminococcus* están presentes en todas las fases del proceso de fermentación, pero son dominantes en la fase acidogénica. La importancia de la presencia de este grupo de bacterias no sólo radica en el hecho que produce el alimento para los grupos de bacterias que actúan posteriormente, sino que, además eliminan cualquier traza del oxígeno disuelto del sistema (Vamero, 2011).

Acetogénesis: Mientras que algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos (H_2 y acético), otros (etanol, ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos) deben ser transformados en productos más sencillos, como acetato (CH_3COO^-) e hidrógeno (H_2), a través de las bacterias acetogénicas. Representantes de los microorganismos acetogénicos son *Syntrophomonas wolfei* y *Syntrophobacter wolini*. Un tipo especial de microorganismos acetogénicos, son los llamados homoacetogénicos. Este tipo de bacterias son capaces de crecer heterotróficamente en presencia de azúcares o compuestos monocarbonados produciendo como único producto acetato. Al contrario que las bacterias acetogénicas, éstas consumen hidrogeno como sustrato. Los principales microorganismos homoacetogénicos que han sido aislados son *Acetobacterium woodii* o *Clostridium aceticum*.

A esta altura del proceso, la mayoría de las bacterias anaeróbicas han extraído todo el alimento de la biomasa y, como resultado de su metabolismo, eliminan sus propios productos de desecho de sus células. Estos productos, ácidos volátiles sencillos, son los que van a utilizar como sustrato las bacterias metanogénicas en la etapa siguiente (Vamero, 2011).

Metanogénesis: En la fase metanogénica, la producción de metano y dióxido de carbono a partir de productos intermedios se lleva a cabo por bacterias metanogénicas bajo condiciones anaeróbicas estrictas. La metanogénesis es un paso crítico en la totalidad del proceso de digestión anaeróbica, ya que es la reacción bioquímica más lenta del proceso

(Adekunle&Okolie, 2015 citado por Parra, 2015). Los microorganismos metanogénicos completan el proceso de digestión anaeróbica mediante la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente: acetato, H_2/CO_2 , formato, metanol y algunas metilaminas (Vamero, 2011).

La última fase de la descomposición anaeróbica se encuentra dominada por un grupo especial de microorganismos, las Arqueas metanogénicas. Las metanogénicas activas aparecen en la segunda fase de la fermentación, la fase de acidogénica. Sin embargo, obviamente el número de Arqueas metanogénicas aumenta en la fase metanogénica. Las principales especies están representadas por *Methanobacterium*, *Methanospirillum hungatii*, y *Methanosarcina*.

Durante el proceso de degradación anaerobia un gran número de microorganismos que trabajan en serie o en serie-paralelo, degradan la materia orgánica en sucesivas etapas o niveles tróficos. La digestión anaeróbica es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas. De hecho, muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea. En la Figura 2.2 se detallan las principales reacciones que se presentan en la degradación anaeróbica.

Etapa	Reacción
Acidogénesis	$C_6H_{12}O_6 + H_2O \longrightarrow 2CH_3COO^- + 2CO_2 + 2H^+ + 4H_2$
	$C_6H_{12}O_6 + 2H_2 \longrightarrow 2CH_3CH_2COO^- + 2H_2O + 2H^+$
	$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow CH_3CH_2CH_2COO^- + 2CO_2 + H^+ + 2H_2$
Acetogénesis	$CH_3CH_2COO^- + 3H_2O \longrightarrow CH_3COO^- + HCO_3^- + H^+ + 3H_2$
	$CH_3CH_2COO^- + 2HCO_3^- \longrightarrow CH_3COO^- + H^+ + 3HCOO^-$
	$CH_3CH_2CH_2COO^- + 2H_2O \longrightarrow 2CH_3COO^- + H^+ + 2H_2$
Metanogénesis	$CH_3COO^- + H_2O \longrightarrow CH_4 + HCO_3^- + 2H_2$
	$H_2 + \frac{1}{4}HCO_3^- + \frac{1}{4}H^+ \longrightarrow \frac{1}{4}CH_4 + \frac{3}{4}H_2O$
	$HCOO^- + \frac{1}{4}H_2O + \frac{1}{4}H^+ \longrightarrow \frac{1}{4}CH_4 + \frac{3}{4}HCO_3^-$

Figura 2.2. Reacciones en la digestión anaeróbica. (Moraes et al., 2015 citado por Parra, 2015).

Factores determinantes durante la digestión anaerobia

Como todo proceso biológico, la digestión anaeróbica se efectuará satisfactoriamente o no dependiendo de las condiciones que estén presentes en el medio. Se requiere del estricto control de diversos factores ambientales y operacionales que condicionan el desarrollo de las diferentes poblaciones microbianas que actúan en el proceso. Los factores principales que influyen en el proceso son los siguientes:

Naturaleza y composición de la materia prima: Los residuos de la industria alimentaria y de las actividades agrícolas en particular, son excelentes como sustratos para la digestión anaerobia, ya que no contienen contaminantes, patógenos, ni metales pesados. La presencia de nutrientes como carbono, nitrógeno y azufre, así como algunos elementos traza, es necesaria

para el desarrollo de las comunidades microbianas encargadas de la digestión anaerobia (Solano, 2010)

Potencial de hidrógeno (pH): El pH afecta el proceso de la digestión anaerobia y eficiencia del proceso de digestión. Los metanógenos trabajan efectivamente entre rango de pH de 6,5-8,2, con un pH óptimo de 7,0. El pH varía debido a varios parámetros como: AGV, concentración de bicarbonato y alcalinidad del sistema y también por la fracción de CO₂ producido durante el proceso. El pH desempeña un papel importante, ya que está asociado a la ocurrencia de fenómenos de acidificación, que afectan negativamente el proceso. Algunos autores afirman que la D.A. es más eficiente a valores de pH cercanos a la neutralidad, diferentes estudios sobre la influencia del pH, indican que no se puede generalizar, debido a aspectos, como las características fisicoquímicas del sustrato, que pueden aportar capacidad buffer y a que cada grupo microbiano implicado en la degradación anaerobia tenga un rango de pH óptimo específico (Parra, 2015)

La temperatura está íntimamente relacionada con los tiempos que debe permanecer la biomasa dentro del digestor para completar su degradación (Tiempo de retención Hidráulica, TRH). A medida que se aumenta la temperatura disminuyen los tiempos de retención y en consecuencia se necesitará un menor volumen de reactor para digerir una misma cantidad de biomasa, además de menores necesidades de agitación (Hilbert, 2006 citado por Carhuancho, 2012).

Temperatura: Los procesos anaeróbicos, al igual que muchos otros sistemas biológicos, son fuertemente dependientes de la temperatura. La velocidad de reacción de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados que a su vez, dependen de la temperatura. A medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión (Vamero, 2011).

Existen tres rangos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos: psicrófilos (por debajo de 25°C), mesófilos (entre 25 y 45°C) y termófilos (entre 45 y 65°C). Dentro de cada rango de temperatura, existe un intervalo para el cual dicho parámetro se hace máximo, determinando así la temperatura de trabajo óptima en cada uno de los rangos posibles de operación, tal como se muestra en la Figura 2.3 (Marti, 2006). Altas temperaturas causan destrucción en las enzimas celulares e influyen en importantes equilibrios químicos del proceso como el amonio-amoniaco libre o ácidos grasos volátiles ionizados-no ionizados, que favorecen las formas no ionizadas que resultan tóxicas para los microorganismos (Campos, 2001 citado por Veléz, 2008).

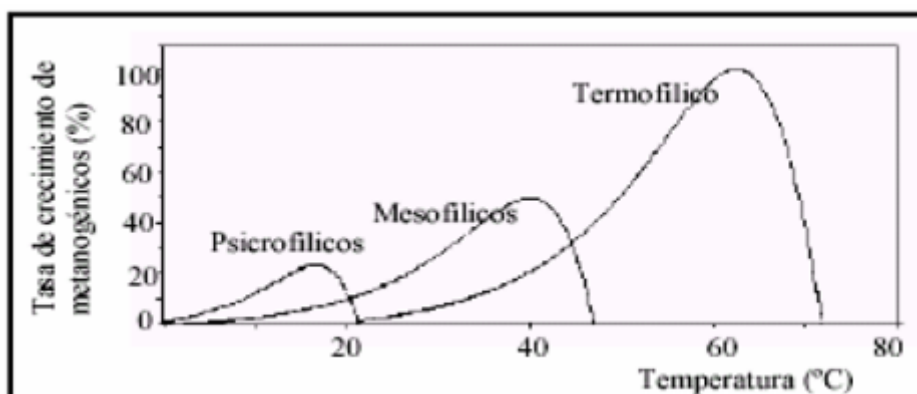


Figura 2.3. Comportamiento de los microorganismos anaerobios de acuerdo a la temperatura (Marti, 2012).

Relación Carbono/Nitrógeno y nutrientes: La presencia de nutrientes como carbono, nitrógeno y azufre, así como algunos elementos a nivel trazas (S, K, Na, Ca, Mg y Fe), es necesaria para el desarrollo de las comunidades microbiana. El carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas. El carbono constituye la fuente de energía y el nitrógeno es utilizado para la formación de nuevas células. La relación carbono-nitrógeno debe estar en una proporción entre 20 y 30 partes del primer elemento por cada parte del segundo. Si la proporción de nitrógeno aumenta, aumenta también la formación de amonio, el cual se genera durante la degradación anaeróbica de urea o proteínas. El amonio libre puede ser inhibitorio para la fermentación anaeróbica y tóxico para las bacterias metanogénicas (Guevara, 1996; Gallert y Winter, 1997; Cui y Jahng, 2006 citado por Solano, 2010). Cuando no se tiene un residuo con una relación C/N inicial apropiada, es necesario realizar mezclas de materias en las proporciones adecuadas para obtener la relación C/N óptimas (Vamero, 2011).

Tiempo de retención hidráulico (THR): Es el tiempo que las bacterias disponen para completar el proceso en el digestor. El THR de los desechos en un digestor está determinado por el diseño del digestor, las fluctuaciones de la temperatura y composición de los desechos. Para los residuos ganaderos suele variar de 10 a 30 días. La eficiencia del digestor es estimada por la cantidad de MO degradada por unidad de volumen del digestor. Al aumentar el THR la fracción de materia orgánica degradada aumenta. Para materiales fácilmente degradables, se requieren THR más cortos y tamaños de digestores más pequeños (Veléz, 2008). En un digestor que opera a régimen estacionario o “discontinuo”, el tiempo de retención es el que transcurre entre la carga del sistema y su descarga.

Se ha observado que a un tiempo corto de retención se produce mayor cantidad de biogás, pero un residuo de baja calidad fertilizante por haber sido parcialmente digerido. Pero para tiempos largos de retención se obtendrá un rendimiento bajo de biogás, pero con un efluente (residuo) más degradado y con excelentes características como fuente de nutrimentos (Soria, 2001).

Biodigestores

Un biodigestor es un compartimiento hermético, en el cual la materia orgánica se fermenta en ausencia de oxígeno, generando gas combustible y efluentes (sólido y líquido) que resultan ser una excelente alternativa como fertilizantes orgánicos (FAO, 1995 citado por Estrada, 2008).

El método básico consiste en alimentar al digestor con materiales orgánicos y agua, dejándolos un período de semanas o meses, a lo largo de los cuales, en condiciones ambientales y químicas favorables, el proceso bioquímico y la acción bacteriana se desarrollan simultánea y gradualmente, descomponiendo la materia orgánica hasta producir grandes burbujas que fuerzan su salida a la superficie donde se acumula el gas (Verástegui, 1980 citado por Soria, 2001).

Los biodigestores pueden clasificarse de acuerdo al modo en que operan en:

Digestores de régimen estacionario: consisten en un tanque hermético con una sola salida, se cargan una sola vez y se descargan cuando dejan de generar gas (muy utilizados para la obtención de fertilizantes orgánicos).

Digestores de régimen semicontinuo: de este modo operativo están los que se construyen enterrados, la carga se hace diariamente por gravedad y cuentan con una campana en la parte superior que almacena el gas que se forma; y además están los horizontales de desplazamiento, también enterrados semejantes a un canal, pero la carga entra por un extremo y por el extremo contrario del biodigestor sale el efluente.

Digestores de régimen continuo: son plantas muy grandes que emplean equipos para proporcionar calefacción y agitación, mayormente son empleados a nivel industrial para el tratamiento de aguas negras (Agearth, 2008).

Productos de la digestión anaerobia

Durante el proceso de digestión anaeróbica se produce biogás (componente energético) empleado para la generación de electricidad, calefacción, entre otros y un efluente, denominado biofertilizante o bioabono, el cual es separado en su fase sólida, conocida como biosol y su fase líquida conocida como biol, ambos componentes de éste tienen extraordinarias cualidades agronómicas beneficiosas para los cultivos.

Biogás: El biogás es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano y dióxido de carbono, pero también contiene pequeñas proporciones de otros gases, como H_2S , H_2 , NH_3 , N_2 y O_2 . La composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. Cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45% es inflamable (Vamero, 2011).

Efluente: Las características del efluente, dependen mucho del tipo de sistema, pero tratando con sistemas de mezcla completa y con residuos orgánicos, se puede decir que el efluente es la mezcla del influente estabilizado y la biomasa microbiana producida. Durante el proceso anaerobio parte de la materia orgánica se transforma en metano, por lo que el contenido en materia orgánica es menor que en el influente. Se trata, además, de un producto más mineralizado que el influente. Cuando el estiércol animal se usa como sustrato en los biodigestores, el efluente líquido puede ser utilizado como bioabono (Lorenzo, 2005).

2.2.3. Biol

Es la fracción líquida resultante del fango proveniente del biodigestor. Aproximadamente el 90% del material que ingresa al biodigestor se transforma en biol. Esto depende naturalmente del tipo de material a fermentar y de las condiciones de fermentación (Aparcana, 2008).

Características generales del biol:

El biol es usado principalmente como promotor y fortalecedor del crecimiento de la planta, raíces y frutos, gracias a la producción de hormonas vegetales (fitorreguladores), las cuales son desechos del metabolismo de las bacterias típicas de este tipo de fermentación anaeróbica. Estos beneficios hacen que se necesite menor cantidad de fertilizantes minerales u otros empleados.

El biol, cualquiera que sea su origen, cuenta con estas fitohormonas por lo que encuentra un lugar importante dentro de la práctica de la agricultura orgánica, al tiempo que abarata costos y mejora la productividad y calidad de los cultivos. Como fertilizante líquido, es muy útil para ser aplicado a través de los sistemas de irrigación (Aparcana, 2008).

Ventajas del uso del biol como fertilizante:

- Permite un mejor intercambio catiónico en el suelo. Con ello se amplía la disponibilidad de nutrientes del suelo. También ayuda a mantener la humedad del suelo y a la creación de un microclima adecuado para la planta.
- Se puede emplear como fertilizante líquido, es decir para aplicación por rociado, y también junto con el agua de riego en sistemas automáticos de rociado.

- En pequeñas cantidades es capaz de promover actividades fisiológicas y estimular el desarrollo de las plantas, sirviendo para enraizamiento, acción sobre el follaje, mejorar la floración y activar el vigor y poder germinativo de las semillas.
- Pruebas realizadas han demostrado que usar biol sólo, sería suficiente para lograr la misma o mayor productividad del cultivo que empleando fertilizantes químicos.

2.2.4 Biosol:

Es la parte sólida resultante de la fermentación anaeróbica dentro del biodigestor. Dependiendo de la tecnología a emplear, este biosol tratado puede alcanzar entre un 25% y un 10% de humedad (de hecho esta humedad es mayormente biol residual). Su composición depende mucho de los residuos que se emplearon para su fabricación. Se puede emplear solo o en conjunto con compost o con fertilizantes químicos.

Aplicación del biosol:

El biosol normalmente se aplica en el campo de la misma manera que se emplea el compost, las cantidades de aplicación varían de acuerdo a los requerimientos de la planta y las condiciones del suelo. También se puede incluir en la preparación del suelo antes de colocar las semillas. Luego de la germinación y crecimiento de la planta se puede seguir abonando el suelo con el biosol, reforzando con fertilizantes químicos si así se desea (Aparcana, 2008).

Ventajas en el uso del biosol:

- El uso de este abono hace posible regular la alimentación de la planta. Los cultivos don fortalecidos y ocurre una mejora del rendimiento. Permite el uso intensivo del suelo mejorando a la vez la calidad del mismo.
- Confiere a los suelos arenosos una mayor cohesión mejorando con ello la retención de los nutrientes en el suelo.
- Mejora la estructura del suelo y la capacidad de retención de la humedad del mismo, favoreciendo la actividad biológica en el suelo. Mejora la porosidad y por consiguiente la permeabilidad y ventilación del suelo.
- Usar biosol como fertilizante reduce la necesidad del abono.
- Inhibe el crecimiento de hongos y bacterias que afectan las plantas.
- Reduce la erosión del suelo

2.2.5. Requerimientos nutricionales de las plantas

Las plantas por ser organismos vivos requieren de una adecuada, oportuna y balanceada nutrición que se logra mediante los elementos esenciales para el crecimiento de las mismas, los

cuales están divididos en dos grandes grupos, los minerales y los no minerales. Estos últimos son el Carbono (C), el Hidrogeno (H) y el Oxigeno (O) que se hallan en la atmosfera y el agua y son fundamentales en el proceso de la fotosíntesis (Huayta, 2006).

Los nutrientes minerales son aquellos que se originaron en el suelo y fueron divididos en dos categorías (clasificación cuantitativa): macronutrientes, divididos a su vez en nutrientes primarios y secundarios; y micronutrientes o microelementos.

Los macronutrientes se necesitan en grandes cantidades, y grandes cantidades tienen que ser aplicadas si el suelo es deficiente en uno o más de ellos. Los suelos pueden ser naturalmente pobres en nutrientes, o pueden llegar a ser deficientes debido a la extracción de los nutrientes por los cultivos a lo largo de los años.

En contraste a los macronutrientes, los micronutrientes o microelementos son requeridos sólo en cantidades ínfimas para el crecimiento correcto de las plantas y tienen que ser agregados en cantidades muy pequeñas cuando no pueden ser provistos por el suelo (FAO, 2002).

Dentro del grupo de los macronutrientes, necesarios para el crecimiento de las plantas en grandes cantidades, los nutrientes primarios son nitrógeno, fósforo y potasio:

El Nitrógeno (N) es el motor del crecimiento de la planta. Suple de 1% a 4% del extracto seco de la planta. Es absorbido del suelo bajo forma de nitrato (NO_3^-) o de amonio (NH_4^+). Siendo el constituyente esencial de las proteínas, está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de las plantas y en la elaboración del rendimiento. Un buen suministro de nitrógeno para la planta es importante también por la absorción de los otros nutrientes.

El Fósforo (P), que suple de 0,1% a 0,4% del extracto seco de la planta, juega un papel importante en la transferencia de energía. Por eso es esencial para la fotosíntesis y para otros procesos químico-fisiológicos. Es indispensable para la diferenciación de las células y para el desarrollo de los tejidos, que forman los puntos de crecimiento de la planta. El fósforo es deficiente en la mayoría de los suelos naturales o agrícolas o donde la fijación limita su disponibilidad.

El Potasio (K), que suple del 1% al 4% del extracto seco de la planta, tiene muchas funciones. Activa más de 60 enzimas (substancias químicas que regulan la vida). El K mejora el régimen hídrico de la planta y aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad. Las plantas bien provistas con K sufren menos de enfermedades.

Los nutrientes secundarios son magnesio, azufre y calcio. Las plantas también los absorben en cantidades considerables:

El Magnesio (Mg) es el constituyente central de la clorofila, el pigmento verde de las hojas que funciona como un aceptador de la energía provista por el sol; por ello, del 15% al 20% del magnesio contenido en la planta se encuentra en las partes verdes. El Mg se incluye también en las reacciones enzimáticas relacionadas a la transferencia de energía de la planta.

El Azufre (S) es un constituyente esencial de proteínas y también está involucrado en la formación de la clorofila. En la mayoría de las plantas suple del 0,2% al 0,3% (0,05 a 0,5) % del extracto seco. Por ello, es tan importante en el crecimiento de la planta como el fósforo y el magnesio; pero su función es a menudo subestimada.

El Calcio (Ca) es esencial para el crecimiento de las raíces y como un constituyente del tejido celular de las membranas. Aunque la mayoría de los suelos contienen suficiente disponibilidad de Ca para las plantas, la deficiencia puede darse en los suelos tropicales muy pobres en Ca. Sin embargo, el objetivo de la aplicación de Ca es usualmente el del encalado, es decir reducir la acidez del suelo.

Los micronutrientes o microelementos son el hierro (Fe), el manganeso (Mn), el zinc (Zn), el cobre (Cu), el molibdeno (Mo), el cloro (Cl) y el boro (B). Ellos son parte de sustancias claves en el crecimiento de la planta, siendo comparables con las vitaminas en la nutrición humana. Son absorbidos en cantidades minúsculas, su rango de provisión óptima es muy pequeño. Su disponibilidad en las plantas depende principalmente de la reacción del suelo. El suministro en exceso de boro puede tener un efecto adverso en la cosecha subsiguiente.

Algunos microelementos pueden ser tóxicos para las plantas a niveles sólo algo más elevados que lo normal. En la mayoría de los casos esto ocurre cuando el pH es de bajo a muy bajo. La toxicidad del aluminio y del manganeso es la más frecuente, en relación directa con suelos ácidos (FAO, 2002).

Es importante notar que todos los nutrientes, ya sean necesarios en pequeñas o grandes cantidades, cumplen una función específica en el crecimiento de la planta y en la producción alimentaria, y que un nutriente no puede ser sustituido por otro. La composición elemental promedia de las plantas, se muestra en la Figura 2.4.

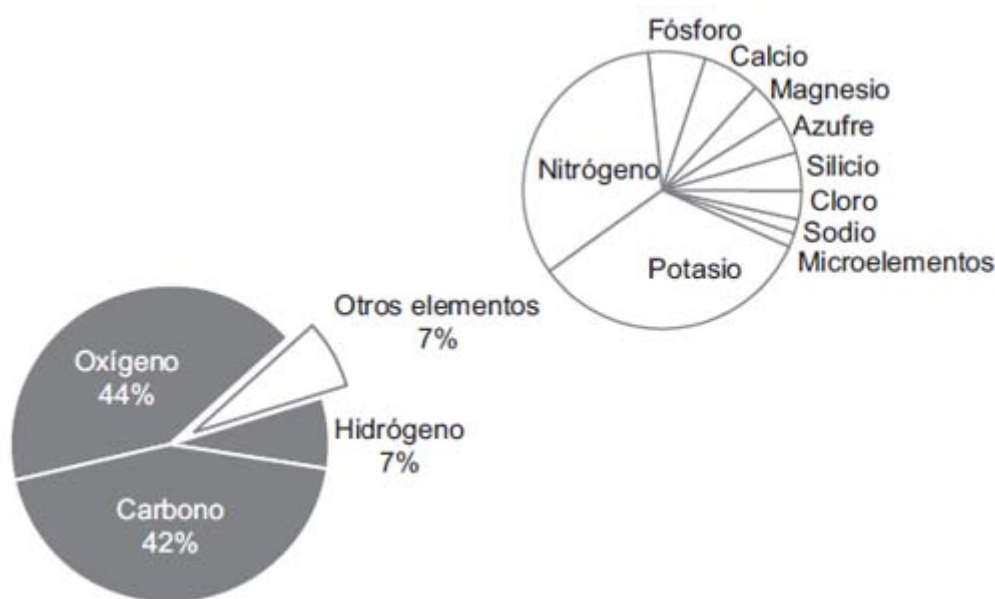


Figura 2.4. Composición elemental promedio de las plantas. (FAO, 2002).

En lo que se refiere al desarrollo y crecimiento de las plantas, es necesario ampliar el conocimiento en cuanto a las hormonas vegetales o fitohormonas, mencionadas anteriormente, estas se definen como fitorreguladores del desarrollo. A bajas concentraciones regulan los procesos fisiológicos y promueven el desarrollo físico de las plantas.

Hay cinco grupos hormonales principales: adeninas, purinas, auxinas, giberelinas y citoquininas, todas estas estimulan la formación de nuevas raíces y su fortalecimiento, además inducen la floración, tienen acción fructificante y estimulan el crecimiento de tallos y hojas (Aparcana, 2008).

2.2.6. Análisis beneficio-costo

Un análisis de costo beneficio es un estudio del retorno, no sólo financiero de nuestras inversiones, sino también de aspectos sociales y medioambientales de lo que el proyecto tiene alguna o toda influencia; por ello, este análisis es imprescindible para la toma de decisiones de cualquier tipo de empresa, organización o institución. Determina la viabilidad de un proyecto. Durante su planificación se evalúan los costos y beneficios derivados, directa o indirectamente, del mismo. (Sinnaps, 2018)

Pasos a seguir para llevar a cabo un análisis beneficio/costo

- Para la determinación de los costos del proyecto se debe tener en cuenta los costos directos y los secundarios. En lo que se refiere a los directos, consisten en un insumo neto, que puede definirse como los bienes y servicios retirados del resto de la economía como consecuencia de

la aparición de un proyecto; no solo se incluyen los gastos monetarios, sino también los intereses durante la construcción del proyecto y los gastos de promoción, servicios de ingeniería, adquisición de terrenos y reubicación de instalaciones existentes. Los gastos indirectos por su parte, son las externalidades que traen como consecuencia una pérdida neta para la sociedad que no recibe contraprestación por los daños físicos o de otro tipo causados por los realizadores del plan inicial.

En lo que se refiere a la valorización de los beneficios, se considera que estos son directos e indirectos. Los beneficios directos se atribuyen a la cantidad de dinero que los consumidores están dispuestos a pagar por los bienes y servicios en el mercado, estos se reflejan en el valor del mercado de lo producido por tal proyecto. Respecto a los beneficios indirectos, también llamados intangibles, no se miden por la disposición a pagar de los consumidores, ya que es posible que un proyecto origine una ganancia adicional a la comunidad (Franco, F & Agudo, L. 1980).

Se afirma que una inversión se considera rentable, si la razón beneficio-costos resulta ser mayor que la unidad, es decir, si el volumen de beneficio obtenido durante cierto periodo es superior a los costos, expresados ambas corrientes en valores actuales (Franco, F & Agudo, L. 1980). Si por el contrario, el resultado es menor o igual a 1, entonces el proyecto no es viable, pues los beneficios del proyecto serán iguales o menores que los costos totales.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

A continuación, se presentan las bases metodológicas, así como también se definen el tipo de investigación y las fases que la componen, estableciéndose las estrategias necesarias para desarrollar convenientemente cada uno de los objetivos planteados en este trabajo especial de grado.

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo a los objetivos planteados y su complejidad, la investigación fue de tipo **proyecto factible**, teniendo en cuenta que en ella se desarrolló una propuesta para el aprovechamiento de los desechos orgánicos generados en la granja avícola del fundo agropecuario “piedras azules” a partir de la elaboración de un biofertilizante. En lo que a diseño se refiere se clasifica como **investigación mixta**, comprendida por una investigación documental, ya que se requirió de una revisión bibliográfica previa para conocer condiciones y técnicas necesarias para la obtención del biofertilizante; y una investigación experimental en donde a nivel de laboratorio se buscó la implementación de un biodigestor para la producción de Biol con tiempos de digestión diferentes, utilizando como materia prima gallinaza (Muñoz, 2011).

3.2 FASES METODOLÓGICAS

En este apartado se presentan las diferentes fases que se requieren para lograr el desarrollo de los objetivos planteados en el trabajo de investigación, describiendo brevemente cada una de las etapas que se llevaran a cabo.

3.2.1 Actividades iniciales, correspondió a la investigación documental de trabajos anteriores, destinados al estudio de los fenómenos involucrados, a fin de recolectar la mayor cantidad de información para el desarrollo del procedimiento práctico y conciso de los objetivos propuestos.

3.2.2 Determinación, en esta fase se realizó la toma de muestra utilizada como materia prima y posteriormente la caracterización de la misma para la evaluación de sus propiedades.

3.2.3 Dimensionamiento, se estableció los parámetros para la obtención del biofertilizante de acuerdo a las características fisicoquímicas de la materia prima determinadas.

3.2.4 Caracterización, una vez obtenido el biol se analizó mediante técnicas de laboratorio para caracterizarlo y posteriormente fueron evaluadas sus propiedades como biofertilizante comparándolo con uno comercial.

3.2.5 Estimación de la relación costo/beneficio, se realizó un análisis costo-beneficio de la propuesta para utilización de los residuos orgánicos de la granja avícola como materia prima.

3.2.6 Actividades finales, en esta sección se procedió a redactar todo lo referente al trabajo realizado, dando a conocer los resultados obtenidos.

3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE LOS OBJETIVOS

3.3.1. Determinar de las características fisicoquímicas de muestras de gallinaza recolectadas

La muestra de gallinaza fue recolectada en la granja de gallinas ponedoras del Fundo Agropecuario “Piedras Azules”, ubicado en el municipio Juan Germán Roscio del estado Guárico. Para eso, se aplicó un muestreo tal como lo indica la Norma COVENIN 1769-81, de tipo aleatorio simple al azar. Una vez recolectada la muestra seca se almacenó en bolsas plásticas (ver Figura 3.1) y trasladadas al Laboratorio de Polímeros del Centro de Investigaciones Químicas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Carabobo, donde se le realizaron los diferentes estudios para conocer su composición.



Figura 3.1. Recolección de la muestra de gallinaza en la granja de gallinas ponedoras.

Pre-tratamiento de la muestra

La muestra recolectada fue depurada, para se extendió sobre una superficie de cartón para retirarle plumas de gallinas, piedras pequeñas, lombrices, bachacos y restos de cáscaras de huevos como se muestra en la Figura 3.2. Luego, con la ayuda de un tamiz de metal, la muestra fue cernida, se desechó los trozos grandes y se almacenó en bolsas plásticas para su posterior uso.



Figura 3.2. Depuración y tamizado de la muestra de gallinaza.

Tratamiento de la muestra

La metodología del tratamiento de la muestra fue descrita por el Grupo Institucional para Uniformar Metodologías Analíticas (GIUMA). Se pesó 0.50g de muestra, se añadió 1 mL de ácido clorhídrico concentrado y se calentó a ebullición hasta sequedad. Luego se adicionó 2 mL

del mismo ácido a concentración 2N para disolver las partículas restantes. En un balón aforado se filtró la muestra de gallinaza como se muestra en la Figura 3.3 y se diluyó con agua destilada hasta el aforo.



Figura 3.3. Tratamiento y filtrado de la muestra.

Ensayos realizados para la caracterización de la gallinaza

• Determinación de nitrógeno total

La determinación del nitrógeno de la gallinaza se realizó en el Laboratorio Ambiental Aragua de la Dirección Estatal para el Eco-socialismo ubicado en Maracay Estado Aragua, empleando el método de Kjeldahl descrito en el standard methods for examination of water and wastewater en la norma 4500-N C, utilizando un bloque digestor marca Gerhardt y un equipo destilador de vapor Kjeltecssystem marca Tecator, tal como se muestra en la Figura 3.4.

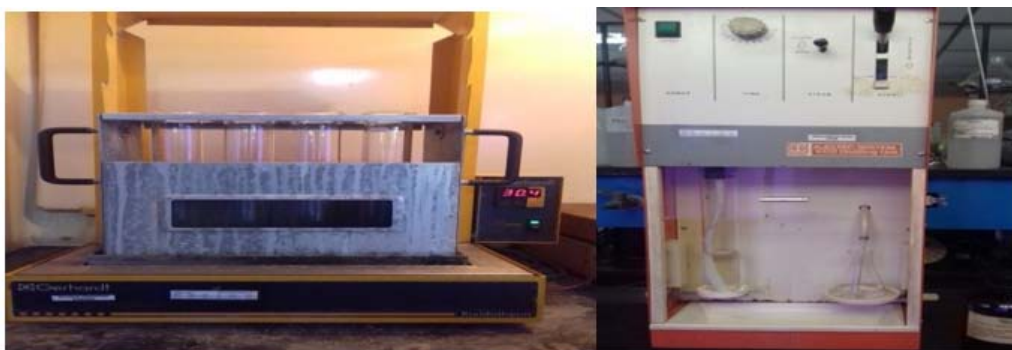


Figura 3.4. Bloque digestor (izquierda) y destilador de vapor (derecha).

• Determinación de carbono total

La determinación del carbono total de la gallinaza se realizó en el Laboratorio Ambiental Aragua de la Dirección Estatal para el Eco-socialismo ubicado en Maracay Estado Aragua, mediante un análisis químico basado en el método titulométrico descrito en el manual de métodos de procedimientos de referencia, bajo la instrucción de trabajo AM-I-805.

• Determinación de humedad

La humedad se realizó bajo el procedimiento gravimétrico, se pesó el vidrio de reloj seco donde se colocó 1g de muestra de gallinaza y se llevó a la estufa por 2 horas a una temperatura de 90°C, como se observa en la Figura 3.5. Se pesó nuevamente la muestra y se registró la lectura. Este procedimiento se llevó a cabo por triplicado y el valor del porcentaje de humedad se ve reflejado en el Apéndice B.



Figura 3.5 Pesado y secado de la muestra de gallinaza.

- **Determinación del calcio, magnesio, zinc y potasio en la muestra de gallinaza**

Se utilizó el espectrofotómetro Perkin-Elmer modelo 3100 (ver Figura 3.6) ubicado en el Laboratorio Tecnológico del Ambiente de la Universidad de Carabobo, para conocer la cantidad de elementos presentes en la muestra de gallinaza, bajo la metodología detallada en la Norma COVENIN 1816-81. Los elementos analizados por espectrofotometría de absorción atómica (AAS), fueron: calcio, magnesio y zinc. El potasio se determinó por emisión implementando el mismo equipo.

Construcción de la Curva de Calibración

Para la realización de la curva de calibración se hicieron soluciones patrón, a partir de una solución madre. La longitud de onda se ajustó de acuerdo a las especificaciones del manual del equipo reflejado en el Apéndice A, y se requirió la utilización de la lámpara específica de cada elemento a analizar. Para la lectura de la absorbancia del elemento calcio, se midió patrones de 0,5 y 5ppm de manera ascendente. Con respecto al magnesio, se tomaron lecturas de concentraciones de 0,4 y 0,87ppm, para el metal zinc los patrones medidos fueron de 0,6 y 0,91ppm, por último se tomó la lectura del elemento primario potasio con un rango de concentraciones de 0,16 a 4,98ppm, este último no necesitó lámpara ya que se realizó por emisión. Luego de realizada la curva de calibración de cada elemento reflejada en el Apéndice C, se tomó la lectura de la concentración de los elementos contenidos en la muestra diluida de gallinaza tomando en cuenta el cumplimiento de la ley de Beer.



Figura 3.6. Realización de las muestras patrones y medición en el equipo Perkin-elmer 3100.

- **Determinación del fósforo total en la muestra de gallinaza.**

La determinación del fósforo total en la muestra de gallinaza se realizó en el Laboratorio Ambiental Aragua de la Dirección Estatal para el Eco-socialismo ubicado en Maracay Estado Aragua. Para esto, se empleó el método descrito en el standard methods for examination of water and wastewater en la norma 4500-PE. La metodología se basa en una digestión ácida de la muestra con ácido sulfúrico y persulfato de potasio, mediante un análisis químico fundamentado en el método colorimétrico del ácido ascórbico.

3.3.2. Establecer los parámetros para la obtención del biofertilizante, según las características de la gallinaza.

Obtenidas las características de la gallinaza en el apartado 3.3.1, se procedió a realizar el cálculo de la relación carbono-nitrógeno existente en la muestra y posteriormente se estableció que la relación materia orgánica-agua para la carga del biodigestor fuese 1:4.

Relación carbono-nitrógeno

A partir de los valores obtenidos de nitrógeno y el carbono calculado, se determinó la relación carbono-nitrógeno mediante la siguiente ecuación:

$$(C/N) = \frac{C_{muestra}}{N_{muestra}} \quad (1)$$

Dónde:

(C/N): Relación carbono-nitrógeno, (adim).

C_{muestra}: Carbono presente en la muestra, (%).

N_{muestra}: Nitrógeno presente en la muestra, (%).

Se construyó de biodigestor, empleando un envase plástico de capacidad de 4 kg, una llave de paso, un termómetro, una bolsa de orina, manguera, virutas de hierro y pegatanke; luego de cargado el biodigestor, se cerró herméticamente, como se muestra en la Figura 3.7. Se fijó que el proceso de digestión anaeróbica se llevara a cabo por 46 días, con medición de temperatura y pH diaria durante los primeros 15 días, y luego cada 2 o 3 días hasta el desmontaje.



Figura 3.7. Prototipos de biodigestor vacíos (izquierda). Prototipo de biodigestor cargado y cerrado herméticamente (derecha).

3.3.3. Caracterizar fisicoquímicamente el biofertilizante obtenido.

Ensayos realizados para la caracterización del biofertilizante obtenido

- **Determinación de nitrógeno total**

Para determinar el porcentaje de nitrógeno total en el biofertilizante obtenido, se empleó el mismo procedimiento basado en el método de Kjeldahl descrito en el apartado 3.3.1.

- **Determinación de carbono total**

Para determinar el porcentaje de carbono total en el producto, se empleó el mismo procedimiento basado en el método titulométrico descrito en el apartado 3.3.1.

- **Determinación del calcio, magnesio, zinc y potasio en el producto obtenido de la digestión anaeróbica**

El procedimiento realizado para la determinación de elementos calcio, magnesio, zinc y potasio está descrito en el apartado 3.3.1. y las curvas de calibración se ven reflejadas en el Apéndice C.

- **Determinación de fósforo total en el producto obtenido de la digestión anaeróbica**

La metodología utilizada se describió en el apartado 3.3.1 para la determinación de fósforo total en el producto obtenido.

3.3.4. Comparar el fertilizante obtenido con un fertilizante comercial.

Se realizó una búsqueda de los fertilizantes orgánicos producidos a nivel nacional, de origen vegetal y animal, disponibles en los establecimientos. Se observó las condiciones y características fisicoquímicas de los mismos y así encontrar analogías en el fertilizante obtenido y el fertilizante comercial, basado en la implementación de 2 macetas con semillas de caraotas negras (*Phaseolus vulgaris*), para luego discutir el proceso de germinación de estas. Los parámetros comparados fueron: pH, nitrógeno total, potasio, fósforo, magnesio, calcio y zinc

3.3.5. Estimar la relación beneficio-costo del posible aprovechamiento de la gallinaza.

Se elaboró un esquema del proceso completo para la obtención del biofertilizante, desde la recolección de la muestra hasta la venta del producto. La estimación de la relación beneficio-costo se determinó mediante la identificación de los costos y beneficios asociados al procesamiento de 1.883.700 kg de gallinaza al año. Para esto se determinó el valor actualizado de los beneficios (VAB) y el valor actualizado de los costos (VAC) (Franco, F & Agudo, L. 1980).

Para el cálculo del VAB, se realizó una proyección de los ingresos generados por la venta del producto, estimando el costo del biofertilizante y multiplicándolo por la cantidad de producto. En lo que se refiere al VAC, se determinaron los costos totales teniendo en cuenta los costos asociados a cada operación implicada en el proceso; también se consideró el costo de mano de obra, materia prima, materiales y equipos, trámites legales necesarios y otros de tipo operativos como mantenimiento, control de calidad y comercialización.

Por último, se estimó la relación beneficio-costo (B/C), la cual se obtiene dividiendo el valor actualizado de los beneficios entre el valor actualizado de los costos.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se exponen los resultados obtenidos en el desarrollo de los objetivos planteados, así como el análisis y discusión de los mismos.

4.1.- Determinar las características fisicoquímicas de muestras de gallinaza recolectadas.

Tabla 4.1. Características fisicoquímicas de las muestras de gallinaza

Parámetro	Valor obtenido	Valor referencial	
pH ($\text{pH} \pm 0,01$) adim	8,12	(8-9)	Estrada, M (2005)
Humedad ($\text{hum} \pm 0,05$)%	12,27	(7-80)	Carhuanchu, F. (2012)
Carbono orgánico ($\text{C} \pm 1$) %	77	40	Cordero, I (2010)
Nitrógeno ($\text{N} \pm 0,01$) %	2,42	(1,4-2,1)	Estrada, M (2005)
Fosforo ($\text{P} \pm 0,01$) %	0,31	2,75	Cordero, I (2010)
Potasio ($\text{K} \pm 0,01$) ppm	1,48	19000	Estrada, M (2005)
Calcio ($\text{CaO} \pm 0,01$) ppm	2,02	57000	Estrada, B. (2009)
Magnesio ($\text{MgO} \pm 0,01$)ppm	0,90	5000	Estrada, B. (2009)
Zinc ($\text{Zn} \pm 0,01$) ppm	0,21	590	Carhuanchu, F. (2012)

En la Tabla 4.1 se muestran los resultados obtenidos en la caracterización de la gallinaza recolectada. En ella, se observa que el pH fue de 8,12. Este valor se encuentra dentro del rango reportado por algunos autores (EstradaM.2005), lo que indica que la gallinaza analizada presenta un carácter alcalino.

Ahora bien, la muestra presenta un valor de humedad de 12,27%, ubicándose dentro del rango mencionado por Carhuanchu (2012), quien expone que la humedad de la muestra presenta grandes variaciones de acuerdo al tipo de almacenamiento que se le dé a la gallinaza.

Con respecto al carbono orgánico, la muestra presenta un valor de 77%, el cual es superior al reportado por Cordero (2010). Esta diferencia puede ser generada por la presencia de otros componentes como cascara de huevos, plumas, e incluso alimento para los animales, que caen sobre las excretas y forman parte de la muestra estudiada, aumentando la cantidad de materia orgánica en la gallinaza, y por tanto el contenido de carbono.

En relación a los elementos primarios (N, P, K), se encontró que la gallinaza analizada contiene un porcentaje de nitrógeno (N) del 2,42% que supera levemente al reportado por Estrada, M (2005); además, de 0,31% de fósforo (P) y 1,48ppm de potasio (K). Los valores de estos dos elementos son menores a los citados por Cordero, J (2010) y Estrada, M (2005) respectivamente. Es de resaltar, que las gallinas poseen un rendimiento digestivo bajo, por lo que la absorción de los elementos que ingieren es mínima y terminan formando parte de sus excretas. Por lo tanto,

se indica que la diferencia entre los valores obtenidos con respecto a los valores bibliográficos están asociados a la composición del alimento que consumen, así como a las condiciones de recolección y almacenamiento de las muestras analizadas, tal como lo señalan diferentes autores (Cordero, 2010).

En cuando a los elementos secundarios (Ca, Mg) se determinó que la gallinaza analizada posee un contenido de calcio de 2,02ppm yde magnesio 0,90ppm. Estos valores son menores a los reportados por Estrada, B (2009). En tanto que para el metal pesado (Zn), la muestra contiene 0,21 ppm, éste valor es inferior al reportado por Carhuancha, F. (2012). Tal como se señaló anteriormente, la discrepancia encontrada con los valores reportados está relacionada al tipo de alimento consumido por la gallina, la edad, la cantidad de alimento desperdiciado al igual que la cantidad de plumas que tenga, además de las condiciones de recolección y almacenamiento de la misma (Estrada, 2009).

Enfunción de lo anteriormente expuesto, se indica que lascaracterísticas fisicoquímicasque presenta la gallinaza son adecuadas. Por lo que, este residuo orgánico puede ser aprovechado como materia prima en un proceso de obtención de un biofertilizante orgánico.

4.2.- Establecer los parámetros para la obtención del biofertilizante, según las características de la gallinaza.

Para la obtención del biofertilizante es necesario establecer algunos parámetros antes de iniciar el proceso, con el fin de asegurar el ciclo biológico de las bacterias durante la digestión anaerobia que se da dentro del biorreactor. (Alvarado, 2018). Los parámetros establecidos para llevar a cabo la biodigestión, se muestra en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Parámetros establecidos para la obtención de biofertilizante.

Parámetro	Valor obtenido	Valor referencial	
Relación C/N ($C/N \pm 0,5$) adim	31,8	(20-30)	Díaz, A (2017)
Relación materia orgánica-agua (MO/H_2O) adim	1/4	(1/3-1/5)	Carhuancha, F. (2012)
Tiempo de retención (t_r) días	44	(10-40)	Alvarado, S. (2018)

La relación carbono/nitrógeno obtenido fue de 31,8. Este valor, se encuentra levemente por encima del rango reportado por Díaz (2017), quien indica que el carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas. Es de resaltar que, cuando la relación C/N es muy estrecha (10:1) hay perdidas de nitrógeno asimilable, lo cual reduce la cantidad del material digerido, pero si la relación es muy amplia (40:1), entonces se inhibe el crecimiento de los microorganismos debido a la falta de nitrógeno (Alvarado, 2018), En este

sentido, se considera adecuada la relación obtenida de C/N para llevar a cabo el proceso de digestión.

Con respecto a la relación entre la materia orgánica y el agua, se fijó una proporción de 1:4, es decir una parte de gallinaza por cuatro de agua. Esta proporción, se consideró adecuada ya que se encuentra en el rango señalado por Carhuanchó (2012); quien resalta que no es recomendable que la carga a degradar este muy concentrada ni muy diluida; ya que, cuando la mezcla es demasiado diluida se puede digerir relativamente poca materia orgánica y por tanto desfavorecer el proceso que se lleva a cabo en el biodigestor (Alvarado, 2018).

Ahora bien, en lo que se refiere al tiempo de retención, se estableció un periodo de 44 días, levemente superior al reportado por Alvarado (2018), quien también acota que se ha observado que para tiempos largos de retención se obtiene un rendimiento bajo de biogás, con resultados favorable en cuanto al biofertilizante, el cual presenta excelentes características como fuente de nutrientes. En virtud de lo anterior, se cargó el biodigestor con la mezcla, se selló y se evaluó el desarrollo del proceso mediante el seguimiento del pH y la temperatura. Los resultados obtenidos se reflejan en la figura 4.1 y 4.2.

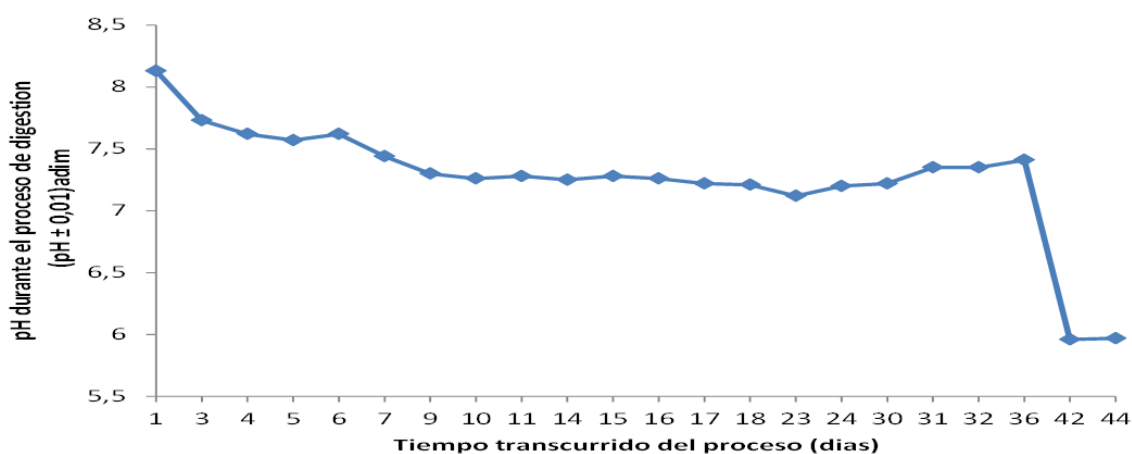


Figura 4.1. Comportamiento del pH durante el proceso de biodigestión.

En lo que se refiere al pH, el proceso inició con un valor de 8,13 y después de la digestión se obtuvo un valor de 5,97, lo que indica una variación con tendencia a la acidez durante la fermentación. Esta ligera acidez final es favorable, ya que inhibe toda actividad de los microorganismos patógenos del biofertilizante obtenido (Alvarado, 2018). La disminución paulatina del pH, es debida a la acumulación de ácidos grasos volátiles que se da durante la fase de hidrólisis seguido por la acidogénesis, lo que a su vez conlleva a una descompensación entre las fases ácidas y metanogénicas, pudiendo bloquearse esta última fase (Carhuanchó, 2012).

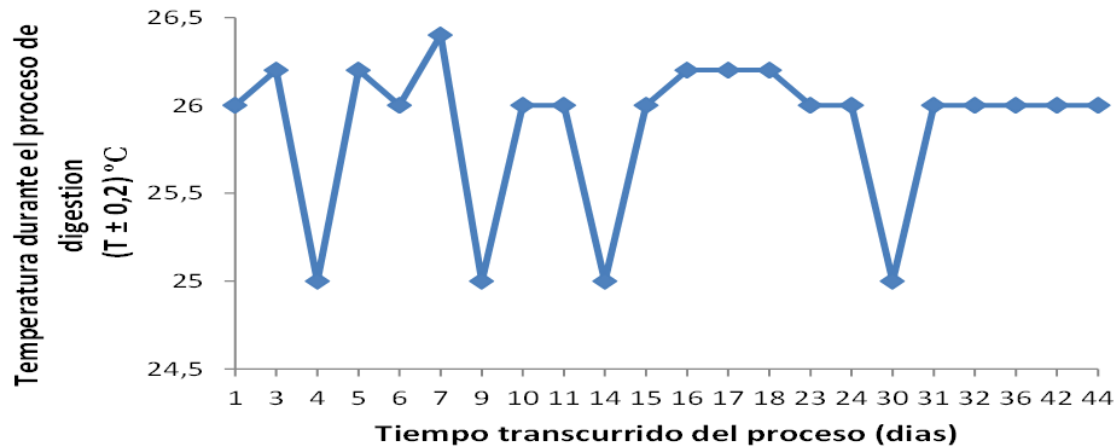


Figura 4.2. Comportamiento de la temperatura durante el proceso de biodigestión.

En cuanto a, la temperatura se apreció que el proceso se dio entre 24,6 y 26,4°C que de acuerdo a lo expuesto por Martí, (2006) se encuentra dentro del rango de temperatura donde actúan los microorganismos mesofílicos (25-45 °C). Es importante recordar, que la temperatura guarda relación con los tiempos que debe permanecer la masa dentro del biodigestor para completar su degradación.

Todos los señalamientos precedentes tienen como intención, corroborar que el tiempo de retención, la relación de materia orgánica-agua y la relación de carbono-nitrógeno establecidas, son parámetros adecuados para la obtención de un biofertilizante. En virtud de esto, posteriormente se procedió a desmontar el biodigestor, se hizo un filtrado del producto con el fin de separar la parte sólida de la líquida, y luego se realizó el estudio solo del biosol.

4.3.- Caracterizar fisicoquímicamente el biofertilizante obtenido.

Tabla 4.3. Características fisicoquímicas del biosol obtenido

Parámetro	Valor obtenido del Biosol	Valor Referencial	
pH (pH ± 0,01) adim	7,50	7,6	Aparcana, S (2008)
Nitrógeno (N ± 0,01) %	1,07	2,7	Aparcana, S (2008)
Fosforo (P ± 0,01) %	0,22	1,6	Aparcana, S (2008)
Potasio (K ₂ O ± 0,01) ppm	1,95	28000	Aparcana, S (2008)
Calcio (CaO ± 0,01) ppm	0,88	10000	COVENIN 1817:2000
Magnesio (MgO ± 0,01)ppm	0,21	5000	COVENIN 1817:2000
Zinc (Zn ± 0,01) ppm	0,22	500	COVENIN 1817:2000

En la tabla 4.3 se muestran los valores de la caracterización del biosol obtenido luego de la digestión anaeróbica. En ella, se observa que el pH obtenido fue de 7,50 adim. Este valor, se

encuentra levemente por debajo a lo establecido por Aparcana, S (2008), lo que indica que el biosol obtenido presenta un carácter alcalino, adecuado para ser utilizado en suelo húmedo.

Con respecto a los macroelementos (N,P,K), se observa que el biosol contiene 1,07% de nitrógeno, 0,22% de fósforo y 1,95ppm de potasio, valores inferiores a los establecidos por (Aparcana, 2008). Es de hacer notar, que el nitrógeno orgánico se hidroliza durante el proceso anaeróbico, dando lugar a formas amoniacales, lo que ocasiona que durante el proceso de digestión la materia orgánica se mineraliza, y que disminuya el nitrógeno orgánico presente en el biosol. Referente al contenido de fósforo en el biosol, resulta menor en cuanto al existente en la gallinaza, esto indica que durante la digestión los componentes del agua se vieron involucrados, por consiguiente se produjeron formaciones de quelatos en el biol. Por otra parte, la cantidad de potasio es mayor comparado con la gallinaza, significando que los compuestos encontrados en el agua permitieron la formación de precipitados en el biosol (Montoya, 2017; Carhuanchu, 2012)

En cuanto a, los micronutrientes (Ca y Mg) el biosol contiene 0,88ppm de Ca y 0,21ppm de Mg. Estos valores, se encuentran por debajo del límite establecido en la norma COVENIN 1817:2000. Lo que indica que, si la cantidad de estos microelementos en la composición de la gallinaza no es significativa, al transcurrir la biodigestión, estarán aproximadamente en las mismas cantidades, ya que durante este proceso no se encuentran involucrados (Carhuanchu, 2012).

En cuanto, al metal pesado (Zn) en el biosol se obtuvo 0,22ppm, el cual se encuentra por debajo del valor que establece la norma COVENIN 1817:2000. Lo que indica que, este metal se encuentra en mínimas y semejantes proporciones antes y después de la biodigestión, dejando en evidencia que no es relevante su existencia para que ocurra este proceso (Carhuanchu, 2012).

Hay que destacar, que las características fisicoquímicas del biosol obtenido son adecuadas y dependen de la mezcla colocada en el biodigestor. Es decir, de las características de la gallinaza (ver Tabla 4.1) y del agua (ver Anexo A.3). Esta última, tiene la función de facilitar el medio líquido donde se desarrollan todas las reacciones bioenergéticas y químicas de la digestión del biofertilizante (Alvarado, 2018).

4.4.- Comparar el fertilizante obtenido con un fertilizante comercial.

Tabla 4.4. Características fisicoquímicas del biofertilizante comercial

Parámetro	Biosol	Biofertilizante comercial sólido
pH ($\text{pH} \pm 0,01$) adim	7,50	8,8
Nitrógeno ($\text{N} \pm 0,01$) %	1,07	1,01
Fosforo ($\text{P} \pm 0,01$) %	0,22	0,54
Potasio ($\text{K}_2\text{O} \pm 0,01$) ppm	1,95	3600
Calcio ($\text{CaO} \pm 0,01$) ppm	0,88	22500
Magnesio ($\text{MgO} \pm 0,01$) ppm	0,21	3000
Zinc ($\text{Zn} \pm 0,01$) ppm	0,22	66,66

En la Tabla 4.4 se muestra la relación que existe entre el biosol obtenido y un biofertilizante comercial sólido producto de la lombricultura que elabora la empresa “Fortaleza C.A” en el municipio Peña estado Yaracuy. Los valores de los diferentes parámetros evaluados del biosol se encuentran por debajo del biofertilizante comercial, excepto el valor nitrógeno. Ahora bien, para realizar la comparación entre ambos fertilizante se llevó a cabo una prueba de germinación de semilla de caraota negra (*Phaseolus vulgaris*). Para esto, se sembraron semillas de caraota bajo condiciones iguales de riego, temperatura y luz. El proceso, fue monitoreado durante 15 días.

Tabla 4.5. Características del proceso de germinación de las caraotas negras (*Phaseolus vulgaris*).

Maceta	1	2
Contenido	Tierra abonada y biofertilizante comercial	Tierra abonada y biosol obtenido
Cantidad de semillas sembradas	9	9
Cantidad total de semillas germinadas	8	9
Cantidad de semillas germinadas al inicio (día 4)	4	1
Porcentaje de Germinación al día 4 (%)	44.44	11.11
Porcentaje de Germinación total al día 15 (%)	88.88	100

En la Tabla 4.5 se muestran las características del proceso de germinación de las caraotas negras (*Phaseolus vulgaris*). Para esto, se tomó dos macetas; una (Maceta 1) con Tierra abonada y biofertilizante comercial y otra (Maceta 2) con Tierra abonada y biosol obtenido. A cada maceta, se le colocó 9 semillas de caraotas negras. En virtud de esto, se observa que la germinación de las macetas al día 4 fueron diferentes, Courtis, (2013) expone que entre los factores que inhiben la velocidad de germinación de la semilla, se encuentran, los nutrientes que poseen los sustratos de las macetas, la madurez de la semilla, su composición química y edad de la misma. Esto deja en evidencia que la maceta 1 al poseer mayor cantidad de fosforo y potasio, ayuda al crecimiento no retrasado de las raíces (FAO, 2002), por lo tanto, su porcentaje de germinación es mayor al finalizar el cuarto día. Sin embargo, al día 15, la maceta 2, mostró en una de sus raíces tener el

mayor tamaño y grosor en comparación con las semillas de la maceta 1, esto se puede visualizar en la Tabla A.4 que se muestra en el Apéndice A y en el Anexo A.6 respectivamente.

Ahora bien, la maceta 2 arrojó un porcentaje de germinación mayor al día 15. Esto es producto de que el biosol contiene mayor cantidad de nitrógeno en comparación con el biofertilizante comercial, siendo este macronutriente el constituyente esencial de las proteínas, involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de las plantas y el responsable de la coloración verde a la hoja de la planta (FAO, 2002), esto último es resaltante ya que las hojas de la maceta 1 durante la germinación se tornaron de color marrón (ver Anexo A.5).

Con respecto a los micronutrientes, estos requieren una atención y cuidado especial porque hay un margen estrecho entre el exceso y la deficiencia en las necesidades de las plantas. En general los micro elementos son necesarios sólo en pequeñas cantidades (FAO, 2002). Cabe destacar que siendo inferiores los valores de la maceta 2 con respecto a la maceta 1, se lleva a cabo el proceso de germinación, lo que indica que la cantidad de ellos es suficiente.

De acuerdo con lo antes expuesto, el biosol obtenido posee las características adecuadas para para la germinación y desarrollo de un cultivo de caraotas negras (*Phaseolus vulgaris*), con mejores resultados a los obtenidos con el fertilizante comercial utilizado.

4.5.- Estimar la relación beneficio-costos del posible aprovechamiento de la gallinaza.

Para la estimación de la relación beneficio-costos se realizó un esquema del proceso, como se muestra en la Figura 4.3.

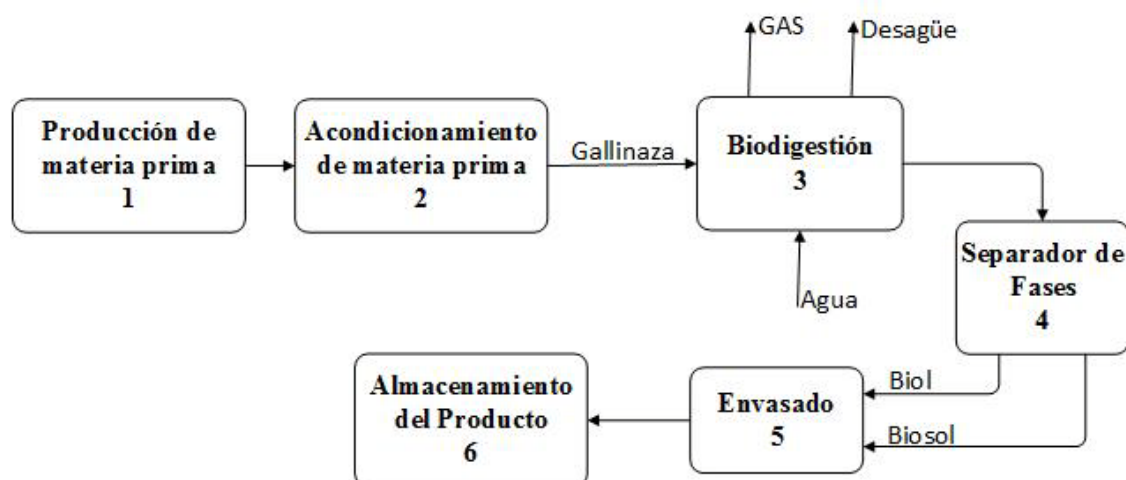


Figura 4.3. Esquema del proceso de producción de un biofertilizante.

El proceso de producción del biofertilizante inicia en el galpón de las gallinas ponedoras, en donde se produce la gallinaza. En este punto, se plantea el establecimiento de un sistema de recolección diaria y disposición en contenedores de los desechos orgánicos, mediante el uso de palas por parte de los obreros de la empresa. Posteriormente, con la ayuda de un montacargas los contenedores serán llevados al área de acondicionamiento para ser descargados y dispuestos en pilas de hasta dos metros de alto, para su tamizado y traslado al biodigestor.

Ahora bien, debido a que la cantidad de gallinaza que se produce diaria es elevada, se propuso la instalación de 8 biorreactores tubulares de capacidad de 300m³ (De diámetro 5m y longitud 15m). Cada biodigestor constará de dos entradas, una para el suministro de agua proveniente de tanques de hidrocentro y otra para la gallinaza, una válvula de alivio, un quemador del biogás, una tubería de desagüe para el momento del mantenimiento y la tubería de salida del producto.

Finalizado el proceso de digestión, se separará el producto en biol y biosol, y se procede a su embotellado y empaquetado respectivamente. Es importante resaltar que antes del proceso de envasado es necesario realizar pruebas de caracterización para verificar si cumple las especificaciones de un producto conforme. Finalmente se almacena el producto para salir al mercado.

En virtud de lo antes expuesto, en la Tabla 4.6 se muestran los costos y beneficios asociados al proceso de producción descrito.

Tabla 4.6. Costos y beneficios asociados a la obtención de un biofertilizante.

Aspectos	Capital Fijo		Capital de Trabajo		
Costos de inversión	Activos tangibles	Activos intangibles	Costos fijos		
	Equipos e infraestructura	Trámites legales	Mano de obra, envasado, mantenimiento, ensayos de caracterización del producto y servicios industriales.	Total inversión (Bs/año)	Total inversión (\$/año)
	Bs/año	12.853.697,99	25.831.500,83	38.685.198,82	
Beneficios	Venta del Producto			154.773.875,16	
Total relación beneficio/costo				5.21	

Ahora bien, el costo de inversión total obtenido fue de 38.685.198,82 Bs/año, y para la determinación del mismo se consideró el capital fijo y el capital de trabajo. En lo referido al capital fijo, se consideraron los activos tangibles constituidos por la infraestructura requerida y los diferentes equipos, como se muestra en la Tabla A.5; y los activos intangibles representados por los trámites legales. Esta evaluación arrojó un monto de 12.853.697,99 Bs/año. En cuanto al

capital de trabajo, se tomó en cuenta los costos fijos, que vienen dados por la mano de obra, los servicios industriales, el mantenimiento de equipos, el envasado y los ensayos de caracterización de las muestras; estos costos fueron estimados en 25.831.500,83 Bs/año. (Ver apéndice B).

En segundo lugar se calcularon los beneficios, resultando un valor de 154.773.875,82 Bs/año. Esta estimación viene dada por los ingresos generados a partir de la venta del producto, teniendo en cuenta que el proceso genera 2 tipos de biofertilizantes, y que ambos serán puestos en el mercado. El precio de venta para el biosol se fijó en 133,3 Bs/kg y el del biol en 5,61 Bs/L, lo que permite acceder al mercado nacional con una ventaja competitiva sobre aquellos productos de similares características. Adicional a lo anterior, se tienen los beneficios de tipo intangible, es decir, aquellos que no se pueden contabilizar o valorar monetariamente; entre estos se pueden mencionar el efecto del producto sobre el ambiente, la reducción del riesgo de enfermedades a empleados y vecinos de la granja, además de la disminución de la contaminación ambiental producida por la gallinaza cuando esta no se maneja de la manera correctamente.

Finalmente, se obtuvo una relación beneficio/costo de 5,21 (Ver apéndice B), lo que indica que con la obtención de un biofertilizante a partir de las excretas de la gallinas, los beneficios son superiores a los costos de inversión, y por ende el proceso planteado es favorable económicamente en las condiciones planteadas, por lo que puede ser implementado por el Fundo Agropecuario “Piedras Azules” o cualquier otra institución agrícola que comparta condiciones semejantes.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el siguiente segmento se exponen las conclusiones obtenidas de los objetivos planteados en este trabajo especial de grado, también se presentan las posibles recomendaciones para la realización de futuras investigaciones en relación al área en estudio.

CONCLUSIONES

- La caracterización de la gallinaza, indica que la misma presenta condiciones adecuadas para ser utilizadas como materia prima en la elaboración de un biofertilizante.
- Las condiciones operacionales del proceso son adecuadas para obtener biofertilizante como producto del proceso de biodigestión.
- Las características fisicoquímicas del biosol obtenido son adecuadas y dependen de la mezcla colocada en el biodigestor.
- El biofertilizante obtenido posee las proporciones de los nutrientes necesarios para la germinación y desarrollo de una plántula de cañote negro.
- La relación beneficio-costo fue de 5,21, lo que indica que el proceso de obtención de un biofertilizante en el Fundo Agropecuario “Piedras Azules”, es favorable.

RECOMENDACIONES

- Evaluar como materia prima otro sustrato para verificar si se lleva a cabo la biodigestión anaeróbica con los parámetros establecidos.
- Modificar el recipiente donde ocurre la biodigestión, de tal manera que sea hermético y de tono oscuro, y así disminuir las interferencias durante el proceso.
- Evaluar la caracterización del biogás y biol para aprovechar todos los productos que se derivan del proceso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acín, R. (2011). *Evaluación de diferentes tipos de fertilizantes químicos y orgánicos en la producción de frijol (Phaseolus vulgaris L. var. Alubia) en el distrito de San Juan de Castrovirreyna-Huancavelica (Perú)*. Trabajo de grado en ingeniería, Universidad Pública de Navarra, Perú.
- Agearth. (2008). *Manual de uso y mantenimiento de unidad biodigestora*. Panamá.
- Alvarado, (2018). *Elaboración de biol a partir de gallinaza y estiércol vacuno*. Trabajo de maestría en ingeniería ambiental, Universidad agraria de la selva. Perú.
- Aparcana, S. (2008). *Estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso fermentación anaeróbica para producción de biogás*. (Reporte No BM-4-00-1108-1239). German ProfeEC.
- Cardona, C. (2015). *Evaluación ambiental de residuos en la granja avícola CAFARI del municipio de San Pedro- Valle de Cauca*. Trabajo de grado en ingeniería ambiental, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Palmira.
- Cardoso, C. (2016). *Evaluación de abonos orgánicos en el cultivo de la cebolla (allium cepa L.) en el sur de la provincia de buenos aires, argentina*. Tesis de grado en ciencia y tecnología de los alimentos. Universidad del Sur. Argentina.
- Carhuanchu, F. (2012). *Aprovechamiento del estiércol de gallina para la elaboración de biol en biodigestores tipo batch como propuesta al manejo de residuo avícola*. Trabajo de grado en licenciatura, Universidad Nacional Agraria, Perú.
- Collins, E., Barker, J., Carr, L., Brodie, H. y J. Martin. (1999). *Poultry waste management handbook*. Ithaca, Nueva York, EE.UU. Natural Resource, Agriculture and Engineering Service (NRAES).
- Cordero, I. (2010). *Aplicación del biol a partir de residuos: ganaderos, de cuy y gallinaza, en cultivos de raphanus sativus l para determinar su incidencia en la calidad del suelo para agricultura*. Trabajo de grado en ingeniería, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.
- Cortés, Jesús. (2013). *Aplicación de la espectrofotometría de absorción atómica en el laboratorio de química forense*. Trabajo de grado en farmacia biológica. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Díaz, A. (2017). *Características fisicoquímicas y microbiológicas del proceso de elaboración de biol y su efecto en germinación de semillas*. Trabajo de maestría en suelos. Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú.
- Courtis, A. (2013). *Germinación de semillas*. Guía de estudio cátedra de fisiología vegetal.
- Doñate, M. (2013). *Efecto de diferentes enmiendas orgánicas sobre el rendimiento y la concentración de nitrato en un cultivo ecológico de espinaca (spinaciaoleracea l.) En invernadero*. Trabajo de grado en ciencias agrarias, Universidad Nacional del Sur.

- Estrada, B. (2009). *Manual del manejo, producción y comercialización de la gallinaza para uso agrícola*. Trabajo de grado en ingeniería agrónoma. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Estrada, J., Gómez, G. & A. Jaramillo. (2008). *Efecto del biodigestor plástico de flujo continuo en el tratamiento de aguas residuales de establos bovinos*. Vet. Zootec., Vol. 2 (N° 2): pg 9-20.
- Estrada, M. (2005). *Manejo y procesamiento de la gallinaza*. Vol. 2. N°1. Pg 2-4.
- Ewing, G. (1975). *Métodos instrumentales de análisis químico*. Cuarta edición. Editorial McGraw-Hill, México.
- FAO. (1999). *Guía para el manejo eficiente de la nutrición de las plantas*. Roma.
- FAO. (2005). *Bienestar de las aves de corral en los países en desarrollo*.
- FAO. (2002). *Los fertilizantes y su uso*. 4ta Edición.
- Fernández, L. (2006). *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados*. México. Pg. 19-35.
- FONAJAP. (1990). *Manual de métodos y procedimientos de referencia*. Ministerio de agricultura y cría. Plan extra-institucional para uniformar procedimientos analíticos.
- Franco, F & Agudo, L. (1980). *Selección de proyectos*. Editorial formula 70 S.R.L. Venezuela.
- Huayta, R. (2006). *Manual de elaboración de abono foliar biol*. Asociación Especializada para el Desarrollo Sostenible. Año 9 (N° 11): pg 3.
- Inca, J. (2016). *Diseño de un biodigestor para la obtención de biogás a partir de las excretas de las gallinas provenientes de la granja avícola Bilbao en la parroquia Cotalo-Pelileo*. Trabajo de grado en ingeniería. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Labrador, J. (2008). *El compost y su uso en la agricultura ecológica*. Revista Vida Rural. N° 273: 34-40
- Lon-Wo, E. (2001). *La producción avícola y la contaminación ambiental*. La Habana, Cuba.
- Lorenzo, Y. & M. Obaya. (2005). *La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I*. ICIDCA, Vol. 39 (N° 1): pp. 35-48.
- Marti, N. (2006). *Phosphorus Precipitation in anaerobic digestion process*. Estados Unidos.
- Medina, J. & B. Paricaguán. (2013). *Caracterización química de tres residuos orgánicos provenientes del Hipódromo Nacional de Valencia*. Ingeniería y Sociedad UC, Vol. 8 (N° 1): pg. 61-69.
- Montalvo, W. (2008). *Manejo y disposición de la gallinaza en el nucleo de producción avícola en el sector de gabia entre los municipios de santa Isabel y coamo, puerto rico*. Tesis de ciencias ambientales. Universidad del Turabo.

- Montoya, A. (2017). *Características fisicoquímicas y microbiológicas del proceso de elaboración del biol y su efecto en germinación de semillas*. Trabajo de grado de maestría scientiar en suelos, Universidad nacional agraria la molina, Perú.
- Muñoz, C. (2011). *Como elaborar y asesorar una investigación de tesis*. Segunda Edición. Editorial Pearson, México.
- Núñez, A. & A. Rodríguez. (2016). *Obtención de un fertilizante basado en el fosfito diácido de potasio mediante el uso de diferentes agentes reductores*. Trabajo de grado en ingeniería, Universidad de Carabobo, Venezuela.
- Lorente, I. (2012). Ficha técnica de agua destilada. [Documento en línea]. Disponible en: www.hiperlimpieza.es. [consulta: 2018, septiembre 15].
- Parra, R. (2015). *Digestión anaeróbica: mecanismos biotecnológicos en el tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la industria alimentaria*. Producción + Limpia, Vol 10 (Nº2): pp 142-159.
- Pérez, G. (2014). *Espectrometría ultravioleta-visible*. [Documento en línea]. Disponible en: http://www.espectrometria.com/espectrometria_ultravioleta-visible [consulta: 2018, enero 10].
- Pineda, V. (2003). *Determinación del contenido de materia orgánica en suelos guatemaltecos por medio de la técnica de reflectancia con espectroscopia de infrarrojo cercano*. Trabajo de grado en ingeniería química. Universidad de san Carlos de Guatemala. Guatemala.
- Pita, J & F, Rodríguez. (1998). *Germinación de semillas*. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación, Madrid.
- Pontón, R. (2010). *Diseño de un sistema para la obtención del biol mediante residuos sólidos orgánicos generados en el cantón joya de los sachas*. Trabajo de grado en ingeniería, Escuela Superior Politécnica El Chimborazo, Ecuador.
- Quiroga, R. (2005). Cuantificación de los beneficios económicos y determinación de los costos ambientales asociados a la implementación del sistema de gestión ambiental en la empresa Aga Fano S.A. Tesis de Pregrado. Universidad de La Salle, Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Bogotá.
- Restrepo, J. (2001). *Elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares*. Costa Rica. Pg: 27.
- Sims, J. & D. Wolf. (1994). Poultry waste management: agricultural and environmental issues. Adv. Agron.
- Sinnaps. (2018). *¿Qué es un análisis de costo beneficio?*. [Documento en línea]. Disponible en: <https://www.sinnaps.com/blog-gestion-proyectos/analisis-cost-beneficio>[Consulta: 2018, mayo 31].
- Solano, O., Vargas, M. & R. Guillén. (2010). *Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad*. Tecnología en Marcha, Vol. 23 (Nº1): pg 39-46.

- Soria, M., Ferrera, R., Etchevers, J., Álcantar, G., Trinidad, J. & L. Borges. (2001). *Producción de biofertilizantes mediante biodigestor de excreta líquida de cerdo*. Terra, Vol. 19 (N° 4): pg 353-362.
- Tablante, L, & G, Rodríguez. (2018). *Obtención de hidroxiapatita a partir del fosfoyeso mediante el proceso hidrotermico*. Trabajo de grado en ingeniería química, Universidad de Carabobo, Venezuela.
- Tortosa, G. (2012). *The production of commercial organic amendments and fertilisers by composting of two phase olive will waste*.
- Valderrama, Y, (2017). *Diseño e implementación de un instrumento electrónico de medida de pH para un terreno agrícola*. Trabajo de grado en ingeniería. Escuelas de ciencias básicas, Tolima.
- Vamero, M. (2011). *Manual de biogás*. Chile.
- Vélez, C., Pinedo, C., Viramontes, O., Ortega, C. & A. Melgoza. (2008). *Bio-tecnologías ambientales para el tratamiento de residuos ganaderos*. Tecnociencia, Vol. 2 (N° 2): pg 131-144.

APÉNDICE A. DATOS RECOLECTADOS

A.1 Determinar las características fisicoquímicas de muestras de gallinaza recolectadas.

Tabla A.1.1 Valores obtenidos en la determinación del grado de acidez en la muestra de gallinaza.

Parámetro	Número de medida		
	1	2	3
Grado de acidez medido ($\text{pH} \pm 0,01$) adim	8,12	8,12	8,12

Tabla A.1.2 Variables necesarias para la determinación de la humedad en la muestra de gallinaza.

Parámetro	Número de medida		
	1	2	3
Peso del vidrio de reloj vacío ($P_{vv} \pm 0,0001$) g	29,7986	57,7192	92,4270
Peso de la muestra húmeda ($P_{mh} \pm 0,0001$) g	1,0744	1,0088	1,0835
Peso de la muestra seca + vidrio de reloj ($P_{ms} \pm 0,0001$) g	30,7405	58,6044	93,3779

Tabla A.1.3 Variables necesarias para la construcción de curvas de calibración y determinación del (CaO) en la muestra de gallinaza.

Numero de muestra	Absorbancia leída por el espectrofotómetro ($\lambda \pm 0,001$) adim	Concentración de Calcio en la muestra ($C_{ca} \pm 0,01$) ppm
1	0,145	0,50
2	0,368	5,00

Tabla A.1.4 Variables necesarias para la construcción de curvas de calibración y determinación del magnesio (MgO) en la muestra de gallinaza.

Numero de muestra	Absorbancia leída por el espectrofotómetro ($\lambda \pm 0,001$) adim	Concentración de Magnesio en la muestra ($C_{mg} \pm 0,01$) ppm
1	0,228	0,4
2	0,245	0,87

Tabla A.1.5 Variables necesarias para la construcción de curvas de calibración y determinación del potasio (K_2O) en la muestra de gallinaza.

Numero de muestra	Absorbancia leída por el espectrofotómetro ($\lambda \pm 0,001$) adim	Concentración de Potasio en la muestra ($C_k \pm 0,01$) ppm
1	0,020	0,16
2	0,027	4,98

Tabla A.1.6 Variables necesarias para la construcción de curvas de calibración y determinación del zinc en la muestra de gallinaza.

Numero de muestra	Absorbancia leída por el espectrofotómetro ($\lambda \pm 0,001$)adim	Concentración de Zinc en la muestra ($C_{\text{zinc}} \pm 0,01$)ppm
1	0,129	0,6
2	0,167	0,91

A.2 Establecer los parámetros para la obtención del biofertilizante, según las características de la gallinaza.

Tabla A.2. Parámetros obtenidos durante la digestión anaerobia.

Día de medición	Parámetro	
	Temperatura	pH(adim)
1	26	8,13
2	26,2	7,73
3	25	7,62
4	26,2	7,57
5	26	7,62
6	26,4	7,44
7	25	7,3
8	26	7,26
9	26	7,28
10	25	7,25
11	26	7,28
12	26,2	7,26
13	24,6	7,22
14	26,2	7,21
15	26	7,12
16	26	0,2
17	25	7,22
18	26	7,35
19	26	7,35
20	26	7,41
21	26	5,96
22	26	5,97

A.3 Caracterizar fisicoquímicamente el biofertilizante obtenido.

Tabla A.3. Valores obtenidos en la determinación del grado de acidez en el biosol.

Parámetro	Número de medida		
	1	2	3
Grado de acidez medido ($\text{pH} \pm 0,01$) adim	7,50	7,50	7,50

A.4 Comparar el fertilizante obtenido con un fertilizante comercial.

Tabla A.4. Parámetros analizados en la germinación de las caraotas negras
(*phaseolusvulgaris*).

Germinación implementando Tierra Abonada y Biofertilizante comercial (maceta 1)					
Semilla	Tamaño de la raíz (cm)	Cantidad de hojas	Tamaño del Tallo (cm)	Observaciones	Especificaciones de las hojas
1	12	14	17	Todas las hojas sanas	8 pequeñas, 6 medianas, 2 grandes
2	17,5	12	19	2 hojas quemadas	7 pequeñas, 3 medianas, 2 grandes
3	12	8	17	Todas las hojas sanas	3 pequeñas, 3 medianas, 2 grandes
4	10	12	17	Todas las hojas sanas	7 pequeñas, 3 medianas, 2 grandes
5	14	8	16,5	Todas las hojas sanas	3 pequeñas, 3 medianas, 2 grandes
6	12	8	15,5	2 hojas quemadas grandes	3 pequeñas, 3 medianas, 2 grandes
7	11	8	17	Todas las hojas sanas	3 pequeñas, 3 medianas, 2 grandes
8	17	11	17	Todas las hojas sanas	6 pequeñas, 3 medianas, 2 grandes
Germinación implementando Tierra abonada y biosol (maceta 2)					
1	13	11	16	2 quemadas	6 pequeñas, 3 medianas, 2 grandes
2	8	13	17	Todas las hojas sanas	8 pequeñas, 3 medianas, 2 grandes
3	11	13	16	Todas las hojas sanas	8 pequeñas, 3 medianas, 2 grandes
4	18	11	16	Todas las hojas sanas	3 pequeñas, 6 medianas, 2 grandes
5	15	14	15	Todas las hojas sanas	9 pequeñas, 3 medianas, 2 grandes
6	13	12	16	Todas las hojas sanas	7 pequeñas, 3 medianas, 2 grandes
7	15	13	16	1 grande quemada	8 pequeñas, 3 medianas, 2 grandes
8	15	10	17	3 marchitas medianas 1 grande rota	6 pequeñas, 3 medianas, 1 grande
9	10	9	19	Todas las hojas sanas	6 pequeñas, 1 mediana, 1 grande

A.5 Estimar la relación beneficio-costo del posible aprovechamiento de la gallinaza.

Tabla A.5.1 Costos y especificaciones de los equipos involucrados

Equipo	Cantidad	Valor unitario(\$)	Valor unitario (Bs)	Características
Biodigestor	8	10.909,66	665.076	Tubular, 300 m ³ de capacidad, 15 m de longitud, diámetro de 5 m,
Bomba	1	131,23	8000	Marca SACO, 1 Hp.
Montacargas	1	6000	365.772	Marca Huahe, capacidad de carga 2.5 Ton.
Retroexcavadora	1	4500	274.329,45	Marca Achina, capacidad de carga 1 Ton, tipo pequeño cargador.
Tanque	2	6000	365.772	Capacidad 200 m ³
	1	3720	226.691	Capacidad 30 m ³

Fuente:Alibaba, 2018; Mercado Libre, 2018.

Tabla A.5.2 Tasa de cambio manejada por el Banco Central de Venezuela, para la determinación de los costos asociados al proyecto en septiembre 2018.

Tasa DICOM oficial (Bs/\$)	60,94
-----------------------------------	-------

Tabla A.5.3Salario del personal involucrado en el proceso

Personal	Sueldo base (Bs/mes)	Salario mensual (Bs/mes)	Salario anual (Bs/año)	No. empleados	Salario total (Bs/año)
Obrero A	1800	1980	477.360	8	3.818.880
Obrero B	2250	2430	482.760	2	965.520
Operador	2700	2880	488.160	2	976.320
Supervisor	3150	3330	493.560	1	493.560
Gerente	4050	4230	504.360	1	504.360
				Total (Bs/año)	6.758.640

APÉNDICE B. CÁLCULOS TÍPICOS

En el siguiente segmento se encuentran, ecuaciones, cálculos y resultados obtenidos de cada objetivo planteado.

B.1 Determinar las características fisicoquímicas de muestras de gallinaza recolectadas.

- **Determinación de la humedad de la gallinaza**

Este ensayo se realizó empleando el método gravimétrico fundamentado en la diferencia de peso.

- Cálculo del porcentaje de humedad de la muestra

$$\%Hum = \frac{(P_{vv} + P_{mh}) - P_{msvr}}{P_{mh}} \times 100 \quad (B.1)$$

Dónde:

%Hum: Porcentaje de humedad de la muestra, (adim).

P_{vv}: Peso del vidrio de reloj, (g).

P_{mh}: Peso de la muestra húmeda, (g).

P_{msvr}: Peso de la muestra seca con el vidrio de reloj, (g).

Sustituyendo en la ecuación anterior los valores necesarios, reflejados en la Tabla A.1.2, se obtiene el porcentaje de humedad en la primera corrida:

$$\%Hum = \frac{(29,7986 + 1,0744)g - 30,7405g}{1,0744g} \times 100 = 12,3324\%$$

Del mismo modo, se determinó el porcentaje de humedad de todas las muestras estudiadas durante la investigación.

- Cálculo de la humedad promedio

El valor promedio se calculó empleando la ecuación:

$$Prom = \frac{\sum_{i=1}^n VM_i}{n} \quad (B.2)$$

Dónde:

Prom: Valor promedio del ensayo en estudio, (adim).

VM_i: Valor obtenido de cada muestra, (adim).

N: Numero de muestras, (adim).

Sustituyendo los valores correspondientes a la gallinaza, resulto:

$$\%HumProm = \frac{(12,3324 + 12,2521 + 12,2381)\%}{3} = 12,2742\%$$

De la misma forma, se calcularon los valores promedios de todas las muestras estudiadas.

- Cálculo de la desviación estándar

Considerando que los ensayos se realizaron por triplicado, el error asociado a estos se determinó mediante el cálculo de la desviación estándar:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (VM_i - Prom)^2}{n - 1}} \quad (B.3)$$

Dónde:

S: Desviación estándar de la muestra.

Empleando la ecuación (B.3) se determinó el error de la humedad:

$$S = \sqrt{\frac{\sum [(12,3324 - 12,2742)^2 + (12,2521 - 12,2742)^2 + (12,2381 - 12,2742)^2]}{3 - 1}}$$

$$S = 0,05086259 \cong 0,05$$

Finalmente, resulta que el valor de la humedad de la muestra de gallinaza es:

$$\%Hum = (12,27 \pm 0,05)\%$$

B.2 Establecer los parámetros para la obtención del biofertilizante, según las características de la gallinaza.

- **Determinación de la relación Carbono/Nitrógeno**

La relación Carbono/Nitrógeno de la muestra de gallinaza se calculó empleando la siguiente ecuación:

$$C/N = \frac{\%Cmg}{\%Nmg} \quad (B.4)$$

Dónde:

C/N: Relación carbono-nitrógeno en la muestra, (adim).

%Cmg: Porcentaje de carbono en la muestra de gallinaza, (adim).

%Nmg: Porcentaje de nitrógeno en la muestra de gallinaza, (adim).

Reemplazando los valores correspondientes mostrados en la Tabla 4.1, se obtiene:

$$C/N = \frac{77\%}{2,42\%} = 31,8$$

- Cálculo del error

El error asociado a la relación C/N se determina por propagación de errores, como se refleja a continuación:

$$\Delta C/N = C/N \times \left(\frac{\Delta \%C}{\%C} + \frac{\Delta \%N}{\%N} \right) \quad (B.5)$$

Sustituyendo los valores respectivos en la ecuación anterior, resulta:

$$\Delta C/N = 31,8 \times \left(\frac{1\%}{77\%} + \frac{0,01\%}{2,42\%} \right) = 0,54 \cong 0,5$$

Por último, la relación Carbono/Nitrógeno queda expresada como:

$$C/N = (31,8 \pm 0,5)$$

B.5 Estimar la relación beneficio-costo del posible aprovechamiento de la gallinaza.

El proceso de producción para la obtención de un biofertilizante fue llevado a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Polímeros encontrado en las instalaciones del centro de investigaciones químicas (CIQ). Para estimar la relación beneficio-costo fue necesario realizar una evaluación de los costos y beneficios en un periodo de un año, para luego establecer una proyección a los 5 años. Cabe destacar que se obtienen dos productos, biosol y biol, los cuales presentan una producción anual de 870.182kg y 6900000L respectivamente.

Capital Fijo

El capital fijo constituye todos los equipos y accesorios involucrados, infraestructura y trámites legales que se refieren al proceso de producción, estos se dividen en tangible e intangibles.

Con respecto a los tangibles está representado por 8 reactores, 1 bomba centrífuga, 1 montacargas, 1 retroexcavadora y 3 tanques.

Por medio de la siguiente ecuación se obtienen el costo de los equipos mencionados:

$$C_{equipos} = \sum_{i=1}^n (n \times Cu)_i \quad (B.6)$$

Dónde:

C_{equipos}: Costos por equipos asociados al proceso, (Bs).

n: cantidad de equipos.

Cu: costo por unidad de equipo, (Bs).

Sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación B.6, se obtiene:

$$C_{equipos} = 5.320.608Bs + 8.000Bs + 365.772Bs + 274.329,45 + 958.235Bs$$

$$C_{equipos} = 6.926.944,45 \text{ Bs.}$$

Considerando los costos de instalación de tuberías y accesorios, representan el 25% del costo total de los equipos, como se muestra a continuación:

$$C_{instalación} = 0,25 \times C_{equipos} \quad (B.7)$$

$$C_{instalación} = 1.731.736,113Bs.$$

Los costos de tuberías y accesorios están incluidos dentro del capital fijo y representa el 20% del costo total de los equipos, es decir:

$$C_{\text{tuberias}} = 0,20 \times C_{\text{equipos}}(B.8)$$

$$C_{\text{tuberias}} = 1.385.388,89 \text{ Bs.}$$

Con respecto a los intangibles, se encuentran los trámites legales, los cuales se ven representados por el 30% del costo total de los equipos, mostrado de la siguiente manera:

$$C_{\text{legales}} = 0,30 \times C_{\text{equipos}}(B.9)$$

$$C_{\text{legales}} = 2.078.083,335 \text{ Bs.}$$

Una vez obtenido los costos anteriores, se calcula el costo del capital fijo, por medio de la siguiente ecuación:

$$CCF_{\text{fijo}} = C_{\text{equipos}} + C_{\text{instalación}} + C_{\text{tuberias}} + C_{\text{legales}} + C_{\text{in}}(B.10)$$

Dónde:

CCFijo: Costos totales del capital fijo, (Bs).

Cin: Costos por infraestructura, (Bs).

Sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación (B.10), se obtiene:

$$CCF_{\text{fijo}} = 6.926.944,45 + 1.731.736,113 + 1.385.388,89 + 2.078.083,335 + 731.545,20$$

$$CCF_{\text{fijo}} = 12.853.697,99 \text{ Bs.}$$

Capital de trabajo

El capital de trabajo es el involucrado en las operaciones del proceso de producción, y varía de acuerdo a la actividad productiva. Está representado por los costos fijos, constituidos por la mano de obra, el mantenimiento de equipos, los servicios industriales, costos de envasado y los ensayos de caracterización de producto.

Los costos de mano de obra se calcularon en base a 8 obreros (tipo A), 1 secretaria y 1 administrador (obrero tipo B), 2 operadores, 1 supervisor y 1 gerente, haciendo un total de 14 personas en la nómina. En la Tabla B.5.1 se encuentran reflejados los sueldos base (de acuerdo al tipo de personal), los salarios mensuales (incluido el bono alimenticio), el salario anual de los empleados (representado por la sumatoria de salarios mensuales durante el año y los pasivos laborales) y el cálculo respectivo del salario total para un año del proceso.

Tabla B.5.1. Costos asociados a la mano de obra empleada

Personal	Sueldo base (Bs/mes)	Salario mensual (Bs/mes)	Salario anual (Bs/año)	No. empleados	Salario total (Bs/año)
Obrero A	1800	1980	477.360	8	3.818.880
Obrero B	2250	2430	482.760	2	965.520
Operador	2700	2880	488.160	2	976.320

Supervisor	3150	3330	493.560	1	493.560
Gerente	4050	4230	504.360	1	504.360
				Total (Bs/año)	6.758.640

Los costos por mantenimiento de equipos, se establecieron en 5% del costo total de los equipos, es decir:

$$C_{me} = 0,05 \times C_{equipos} \quad (B.11)$$

$$C_{me} = 0,05 \times 6.926.944,45 \text{ Bs/año} = 346.347,22 \text{ Bs/año}$$

Los costos asociados a servicios industriales se determinaron en función del 20% del costo total de los equipos, por ende:

$$C_{si} = 0,15 \times C_{equipos} \quad (B.12)$$

$$C_{si} = 0,20 \times 6.926.944,45 \frac{\text{Bs}}{\text{año}} = 1.385.388,89 \text{ Bs/año}$$

Los costos por ensayos de caracterización de la materia prima y de los productos finales, realizados fuera de las instalaciones de la granja, se reflejan en la Tabla B.5.2 a continuación:

Tabla B.5.2. Costos relacionados a los ensayos de caracterización

Descripción	Costo mensual (Bs/mes)	Costo anual (Bs/año)
Ensayos de caracterización de la materia prima	32.675,69	392.108,28
Ensayos de caracterización de los productos	65.351,37	784.216,44
Total	98.027,06	1.176.324,72

Por último, teniendo en cuenta que la presentación para la venta del biol sería en recipientes plásticos de 1 L, y del biosol en bolsas de 3 kg, con una producción aproximada de 870.182 kg/año de biosol y 6.900.000 L/año de biol, los costos de envasado obtenidos son los reflejados en la Tabla B.5.3.

Tabla B.5.3 Costos por envasado de producto

Presentación	Costo individual (Bs)	Costo total (Bs/año)
Bolsas plásticas 3 kg	2,16	64.800
Botellas plásticas 1 L	2,3	16.100.000
	Total	16.164.800

Conocidos los costos por mano de obra, mantenimiento de equipos, servicios industriales, costos de envasado y ensayos de caracterización necesarios, se procedió a calcular el capital de trabajo:

$$CT = C_{mo} + C_{me} + C_{si} + C_{ec} + C_{env} \quad (B.13)$$

Dónde:

CT: Capital de trabajo, (Bs/año)

Cmo: Costos por mano de obra, (Bs/año)

Cme Costos por mantenimiento de equipos, (Bs/año).

Csi: Costos por servicios industriales, (Bs/año).

Cec: Costos por ensayos de caracterización, (Bs/año).

Cenv: Costos por envasado, (Bs/año).

Sustituyendo los valores correspondientes, se obtiene:

$$CT = (6.758.640 + 346.347,22 + 1.385.388,89 + 1.176.324,72 + 16.164.800)Bs/año$$

$$CT = 25.831.500,83 Bs/año$$

Una vez calculados el capital fijo y el de trabajo, se determinó el costo de inversión total del año cero:

$$Cit = CCFijo + CT \quad (B.14)$$

Dónde:

Cit: Costo de inversión total, (Bs/año).

Reemplazando los valores conocidos, resulta:

$$Cit = (12.853.697,99 + 25.831.500,83)Bs/año = 38.685.198,82Bs/año.$$

Precio del Producto

Para determinar el precio del producto (tanto del biosol como del biol) se tomó en cuenta la producción anual de la empresa, los costos de inversión total, y un margen de ganancia sobre el costo del producto de un 30%, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$P_{prod} = 0,3 \times \frac{Cit}{ProdB} \quad (B.15)$$

Dónde:

Pprod: Precio del producto, (Bs/kg).

ProdB: Producción anual del biofertilizante, (kg/año).

Sustituyendo los valores correspondientes al biosol, se obtuvo:

$$P_{prod}(\text{biosol}) = 0,3 \times \frac{Cit}{ProdB} = 0,3 \times \frac{38.685.198,82Bs/año}{870182 kg/año} = 44,46 Bs/kg$$

De igual manera, se determinó el precio del biol, sustituyendo los valores respectivos en la ecuación antes mencionada:

$$P_{prod}(\text{biol}) = 0,3 \times \frac{Cit}{ProdB} = \frac{38.685.198,82Bs/año}{6.900.000L/año} = 5,61Bs/L$$

Beneficios

Los beneficios son el resultado de los ingresos generados por la venta de los productos obtenidos. Se estimó el precio de venta para el biosol en bolsas de 3kg de 133,38 Bs considerando una producción de 870.182kg/año, y un precio de 5,61 Bs para el biol envasado en botellas de 1L sabiendo que la producción aproximada de este es de 6.900.000 L/año.

Los ingresos generados para el año 1 por la venta del biosol, viene dado por la ecuación:

$$B_{\text{biosol}} = P_{\text{prod}}(\text{biosol}) \times P_{\text{año}} \quad (\text{B.16})$$

Dónde:

B_{biosol} : Beneficio del biosol en un año, (Bs/año).

$P_{\text{año}}$: Producción anual del biosol, (kg/año).

Sustituyendo los valores en la ecuación B.16, se obtiene el beneficio del biosol en un año.

$$B_{\text{biosol}} = 133,38 \text{ Bs/kg} \times 870.182 \text{ kg/año} = 116.064.875,16 \text{ Bs/año}$$

De la misma manera, se obtuvo el beneficio del biol en un año, arrojando 38.709.000 Bs/año.

Finalmente, los beneficios totales se determinan de la siguiente manera:

$$B_{\text{totales}} = B_{\text{biosol}} + B_{\text{biol}} \quad (\text{B.17})$$

$$B_{\text{totales}} = 154.773.875,16 \text{ Bs/año}$$

Las estimaciones de los años posteriores se realizan de igual forma, tomando en cuenta que el porcentaje de inflación 15% y se muestran en la Tabla B.5.4.

Tabla B.5.4. Proyección de costos y beneficios durante 5 años de producción.

Año	Egresos	Beneficios	Balance
0	38.685.198,82	0	-38.685.198,82
1	29.706.225,95	154.773.875,16	125.067.649,2
2	34.162.159,84	177.989.956,4	143.827.796,6
3	39.286.483,82	204.688.449,9	165.401.966,1
4	45.179.456,39	235.391.717,4	190.212.261

Es necesario calcular el valor actual de los beneficios, para ello se establece una tasa de interés de 15% y se determina con la siguiente ecuación.

$$V_{\text{actualB}} = \sum_{t=1}^t \frac{B_{\text{totales}}}{(1+i)^t} \quad (\text{B.18})$$

Dónde:

i: Tasa de interés

t: año actual de estudio, (adim).

V_{actualB} : Valor actual de los beneficios, (Bs/año).

Sustituyendo los datos en la ecuación, para el año 1, obtenemos:

$$V_{\text{actualB}} = \sum_{t=1}^t \frac{B_{\text{totales}}}{(1+i)^t} = 134.585.978,4 \text{ Bs/año}$$

De la misma forma se determina el valor actual de los costos totales asociados al proceso de producción, arrojando:

$$V_{\text{actualC}} = \sum_{t=1}^t \frac{C_{\text{totales}}}{(1+i)^t} = 25.831.500,83 \text{Bs/año}$$

Por último se realiza la relación beneficio-costo, empleando la siguiente ecuación:

$$R_{\text{beneficio/costo}} = \frac{V_{\text{actualB}}}{V_{\text{actualC}}} \quad (\text{B.19})$$

Dónde:

$R_{\text{beneficio/costo}}$: Relación beneficio costo asociado al proceso, (adim).

Sustituyendo los valores correspondientes, se obtuvo:

$$\frac{R_{\text{beneficio}}}{\text{costo}} = \frac{V_{\text{actualB}}}{V_{\text{actualC}}} = 5,21 \text{ adim.}$$

APÉNDICE C. CURVAS DE CALIBRACIÓN

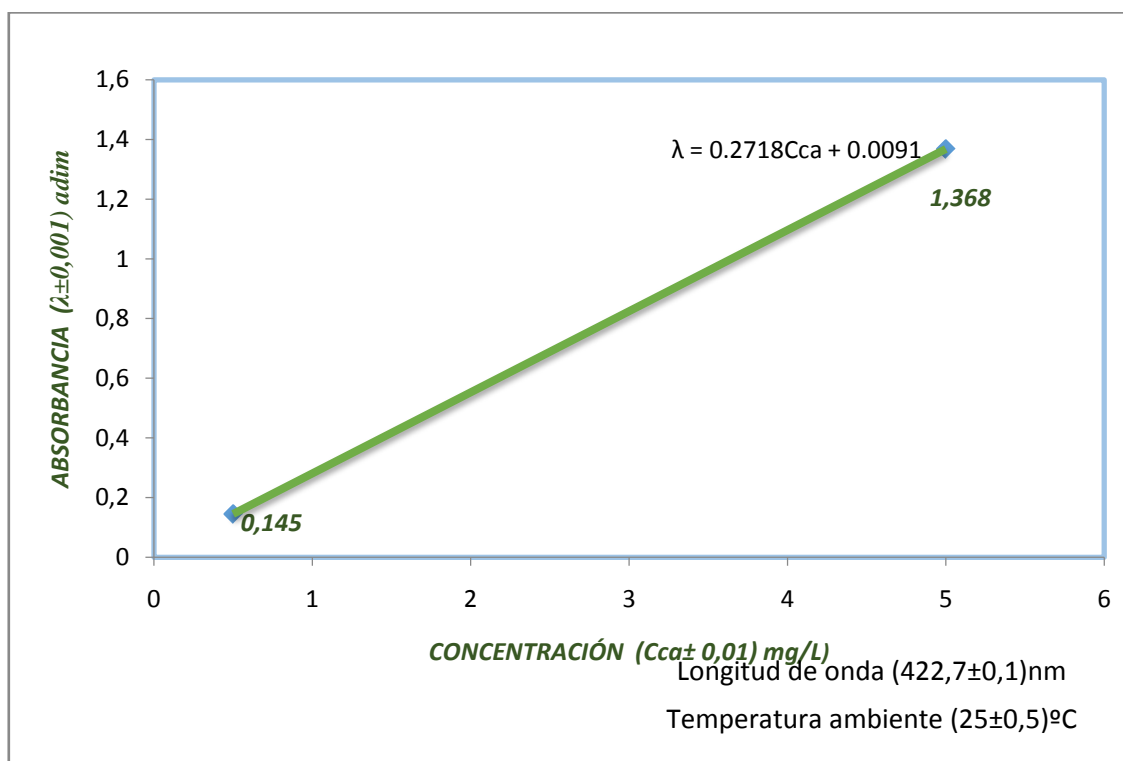


Figura C.1: Curva de calibración de la absorbancia en función de la concentración del calcio.

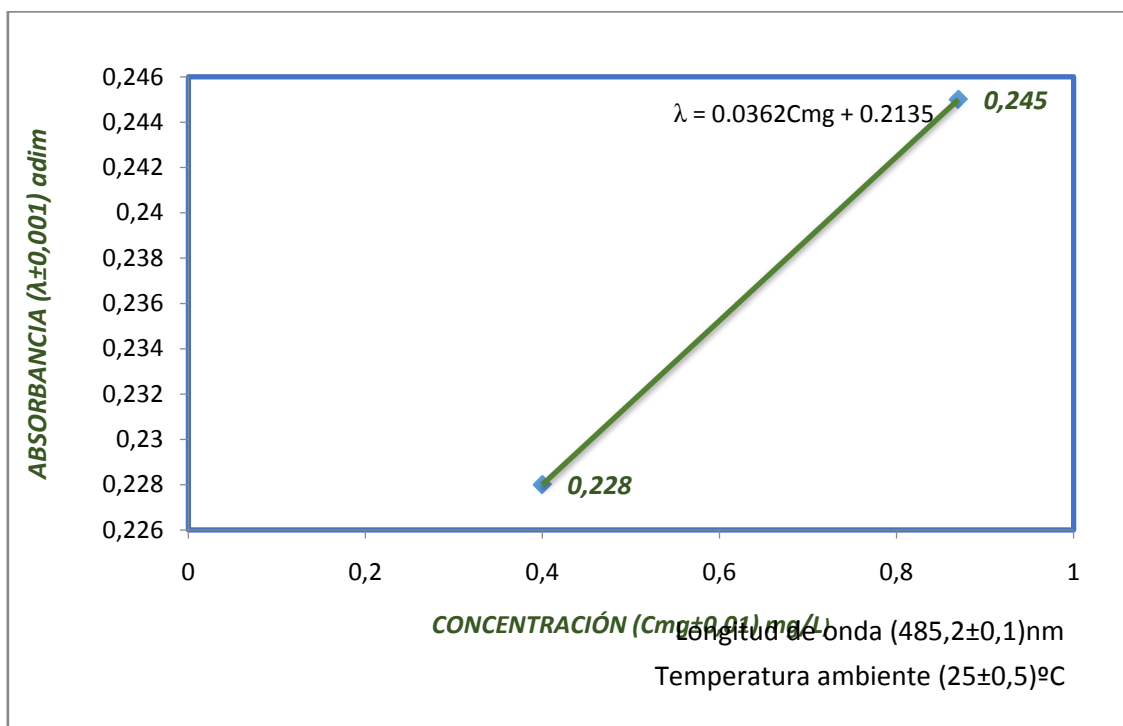


Figura C.2: Curva de calibración de la absorbancia en función de la concentración del magnesio.

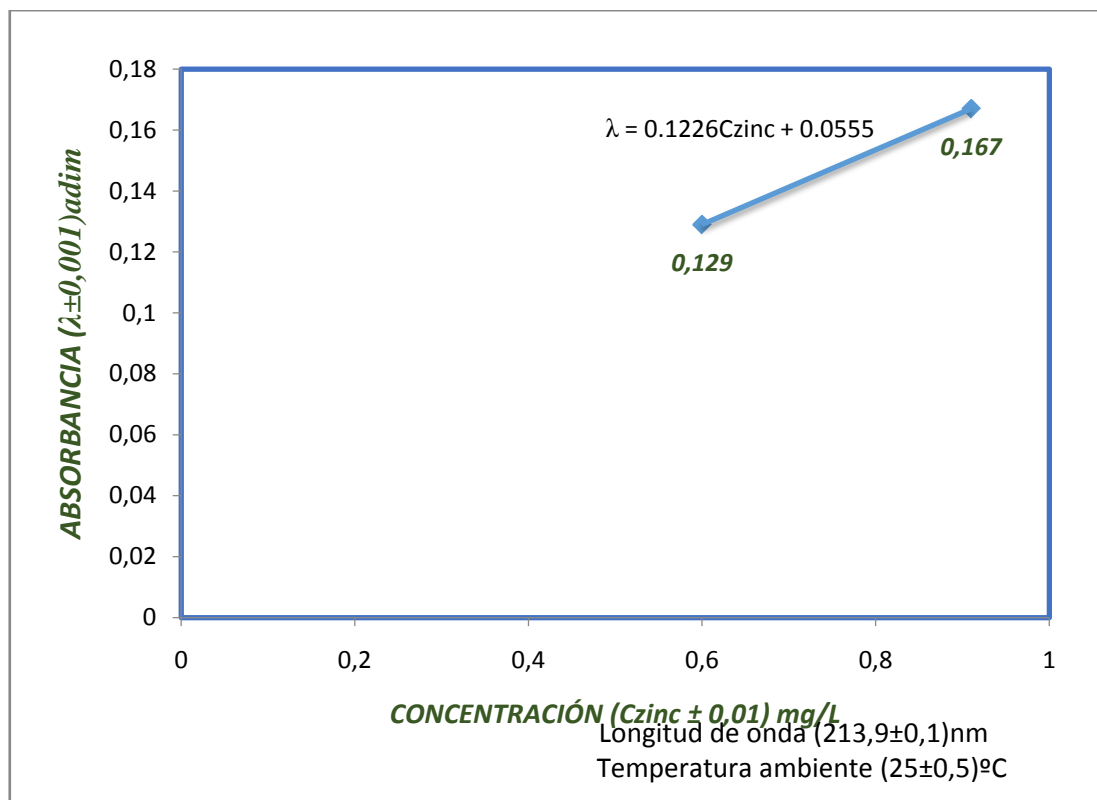


Figura C.3: Curva de calibración de la absorbancia en función de la concentración del zinc.

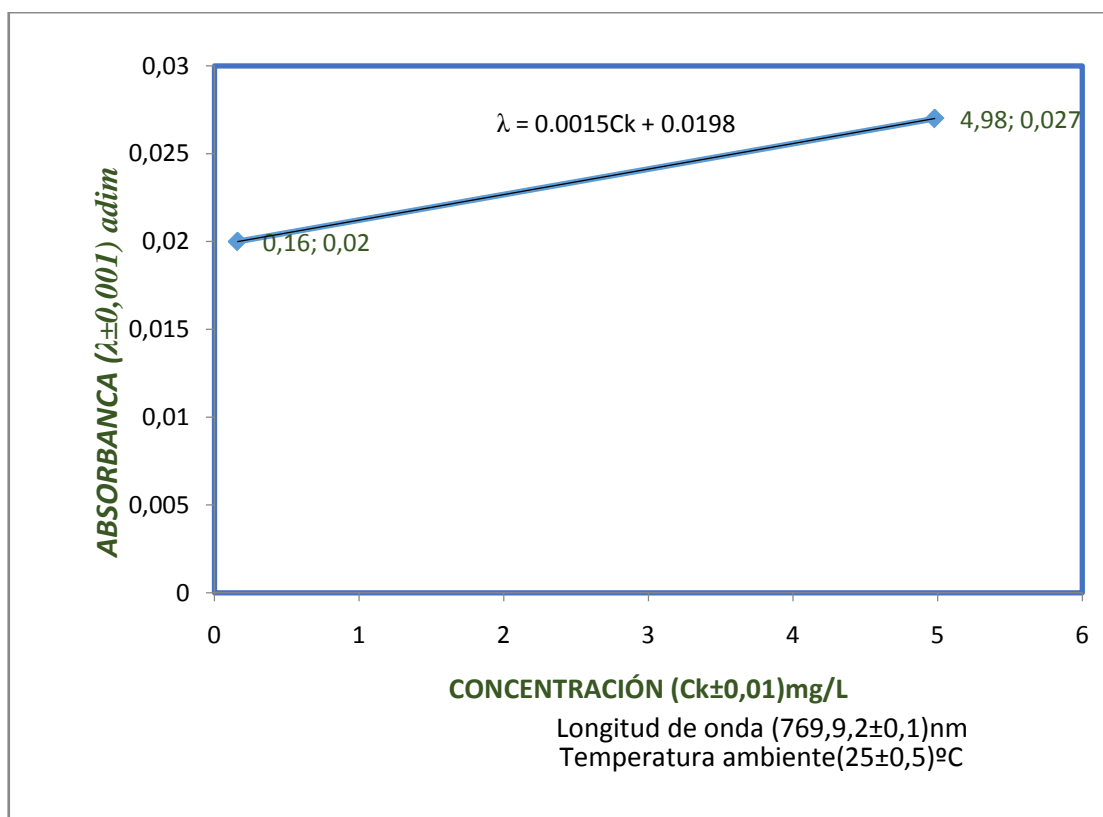


Figura C.4: Curva de calibración de la absorbancia en función de la concentración del potasio.