

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**ESTABILIZACIÓN DE LA GALLINAZA DE JAULA MEDIANTE EL
USO DEL ESCARABAJO DEL ESTIÉRCOL (*Alphitobius
diaperinus*) PARA USO COMO ENMIENDA ORGÁNICA**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

JORGE ADRIÁN ENRÍQUEZ MARTÍNEZ

jorge.enriquez@epn.edu.ec

DIRECTOR: MSc. ISAÍAS MARCELO MUÑOZ RODRÍGUEZ
marcelo.munoz@epn.edu.ec

CO-DIRECTORA: Ph.D. ANA LUCÍA BALAREZO AGUILAR
ana.balarezo@epn.edu.ec

Quito, septiembre 2020

DECLARACIÓN

Yo, Jorge Adrián Enríquez Martínez, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa actual vigente.

JORGE ADRIÁN ENRÍQUEZ MARTÍNEZ

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por el señor Jorge Adrián Enríquez Martínez bajo nuestra supervisión.

MSc. Marcelo Muñoz
DIRECTOR DEL PROYECTO

Ph.D. Ana Lucía Balarezo
CO - DIRECTORA DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

A mis padres, por darme la oportunidad de estudiar una carrera universitaria, gracias por su apoyo incondicional a través de este largo tiempo para poder formarme como ingeniero y ser un hombre de bien que pueda enfrentarse a las dificultades que presente la vida por sus propios medios.

A mis amigos Viviana, Karla, Joselyn, Carol, Fabricio y Wilson, por acompañarme en los buenos y malos momentos mientras estudiaba en la Universidad.

A todos los que contribuyeron con una pequeña parte para que todo esto fuera posible.

A la Ing. Guissela Vilaña, por ayudarme en el inicio de este proyecto de titulación.

Al Ing. Marcelo Muñoz por dirigir mi proyecto de titulación y guiarme con su conocimiento técnico.

A la Ing. Ana Lucía Balarezo por colaborar en la codirección de este proyecto de titulación aportando ideas y guiando su desarrollo.

CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTO	IV
CONTENIDO	V
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
SIMBOLOGÍA Y SIGLAS	XIII
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
PRESENTACIÓN	XVI
CAPÍTULO 1	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 OBJETIVOS	1
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	1
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	1
1.3 ALCANCE	2
1.4 JUSTIFICACIÓN	2
CAPÍTULO 2	4
2.1 SECTOR AVÍCOLA EN ECUADOR	4
2.2 LOCALIZACIÓN DE GRANJAS AVÍCOLAS	5
2.1.1 PRODUCCIÓN AVÍCOLA EN PISO	6
2.1.1 PRODUCCIÓN AVÍCOLA EN JAULA	6

2.1.1	RESIDUOS DE GRANJAS AVÍCOLAS.....	8
2.3	MÉTODOS CONVENCIONALES DE ESTABILIZACIÓN DE RESIDUOS AVÍCOLAS.....	15
2.3.1	BIODIGESTIÓN	16
2.3.2	COMPOSTAJE	22
2.4	ESCARABAJO DEL ESTIÉRCOL (<i>Alphitobius diaperinus</i>)	27
2.4.1	COMPORTAMIENTO.....	30
2.4.2	MORFOLOGÍA.....	32
2.4.3	EXCRETAS.....	33
2.5	ENMIENDAS Y FERTILIZANTES ORGÁNICOS.....	35
CAPÍTULO 3.....		39
3.1	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	39
3.1.1	BIORREACTORES	39
3.1.2	TRATAMIENTOS.....	39
3.1.3	PREPARACIÓN DEL ÁREA EXPERIMENTAL	40
3.2	OBTENCIÓN DE LA GALLINAZA DE JAULA	41
3.2.1	CARACTERIZACIÓN DE LA GALLINAZA DE JAULA	42
3.3	OBTENCIÓN DEL ESCARABAJO DEL ESTIÉRCOL (<i>Alphitobius diaperinus</i>).....	44
3.3.1	TÉCNICA DE SEPARACIÓN DE ESCARABAJOS ADULTOS (<i>Alphitobius diaperinus</i>)	45
3.4	INICIO DE BIOPROCESO	45
3.5	MONITOREO DIARIO.....	46
3.5.1	TEMPERATURA AMBIENTE Y HUMEDAD RELATIVA	46
3.5.2	TEMPERATURA BIORREACTORES.....	47

3.6	MONITOREO SEMANAL	48
3.6.1	RECOLECCIÓN DE MUESTRAS	48
3.6.2	pH.....	48
3.6.3	HUMEDAD Y SÓLIDOS TOTALES	49
3.6.4	SÓLIDOS VOLÁTILES	49
3.6.5	SÓLIDOS VOLÁTILES/SÓLIDOS TOTALES	50
3.7	CARACTERIZACIÓN FINAL.....	50
3.8	ANÁLISIS.....	51
3.8.1	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS.....	51
3.8.2	DETERMINACIÓN DEL TRATAMIENTO MÁS ESTABLE.....	51
CAPÍTULO 4.....		52
4.1	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE LA GALLINAZA DE JAULA	52
4.2	VARIACIÓN DE PARÁMETROS DIARIOS	53
4.2.1	TEMPERATURA	53
4.2.2	HUMEDAD RELATIVA.....	54
4.3	VARIACIÓN DE PARÁMETRO SEMANALES	55
4.3.1	pH.....	55
4.3.2	HUMEDAD	56
4.3.3	SÓLIDOS VOLÁTILES	58
4.3.4	SÓLIDOS VOLÁTILES/SÓLIDOS TOTALES	59
4.4	CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS OBTENIDOS	61
4.5	USO POTENCIAL DEL RESIDUO OBTENIDO.....	64
4.6	DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS Y ESCARABAJOS.....	66
CAPÍTULO 5.....		68

5.1 CONCLUSIONES	68
5.2 RECOMENDACIONES	69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
ANEXOS.....	79
ANEXO 1	80
MONITOREO DE PH.....	80
ANEXO 2	86
MONITOREO DE HUMEDAD	86
ANEXO 3	91
MONITOREO DE SÓLIDOS VOLÁTILES (SV).....	91
ANEXO 4	96
RELACIÓN DE SÓLIDOS VOLÁTILES Y TOTALES (SV/ST).....	96
ANEXO 5	101
MACRONUTRIENTES PRINCIPALES (NPK).....	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Composición nutritiva de excretas de aves en base seca	9
Tabla 2.2 Composición nutritiva de la gallinaza de jaula en función del tipo de almacenamiento.....	10
Tabla 2.3 Parámetros físico-químicos de gallinaza de jaula.....	12
Tabla 2.4 Análisis microbiológico de gallinaza fresca	12
Tabla 2.5 Análisis Microbiológico de pollinaza fresca	13
Tabla 2.6 Tipos de biodigestores	20
Tabla 2.7 Caracterización de biogás.....	21
Tabla 2.8 Caracterización Bioquímica del biol	22
Tabla 2.9 Valores medio de los parámetros agronómicos del compost de gallinaza.....	27
Tabla 2.10 Composición de macronutrientes principales de abonos orgánicos ..	34
Tabla 2.11 Análisis químico de tratamientos de gallinaza de jaula.....	35
Tabla 2.12 Propiedades físicas y químicas declaradas para enmiendas	37
Tabla 2.13 Requisitos específicos de enmiendas orgánicas	37
Tabla 2.14 Valores mínimos declarables de productos con macronutrientes primarios y secundarios	38
Tabla 3.1 Proporción de escarabajos del estiércol usada en cada tratamiento	40
Tabla 3.2 Termómetro higrómetro digital utilizado	40
Tabla 3.3 Campaña de muestreo de la gallinaza de jaula.....	42
Tabla 3.4 Métodos de Caracterización de la gallinaza de jaula.....	43
Tabla 3.5 Termómetro digital utilizado	47
Tabla 3.6 Medidor de pH utilizado	48
Tabla 3.7 Intervalos de confianza de acuerdo con el coeficiente de variación	51
Tabla 4.1 Características de la gallinaza de jaula	52
Tabla 4.2 Caracterización final de los tratamientos utilizados	61
Tabla 4.3 Comparación de resultados del tratamiento T4.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Impacto Ambiental ocasionado por los planteles Avícolas.....	14
Figura 2.2 Esquema de reacciones involucrados en la digestión anaerobia de materia orgánica	18
Figura 2.3. Parámetros involucrados en la biodigestión de los residuos orgánicos	19
Figura 2.4 Esquema de un biodigestor y sus partes	20
Figura 2.5 Curva de temperaturas de la fermentación aerobia de las excretas ...	24
Figura 2.6 Parámetros involucrados en el compostaje de la gallinaza.....	25
Figura 2.7 Porcentaje de <i>A. diaperinus</i> que elimina <i>E. coli</i> en sus heces	30
Figura 2.8 Ciclo de vida de <i>Alphitobius diaperinus</i>	31
Figura 2.9 Diferencias fisiológicas de <i>Alphitobius diaperinus</i> entre a) macho y b) hembra.....	33
Figura 2.10 Aspecto físico del estado adulto de <i>Alphitobius diaperinus</i>	33
Figura 3.1 Recolección de Gallinaza	41
Figura 3.2 Homogenización de muestras	41
Figura 3.3 Separación de escarabajos de grumos de gallinaza.....	45
Figura 3.4 Ubicación de los biorreactores en el área seleccionada	46
Figura 3.5 Termómetro higrómetro digital utilizado.....	46
Figura 3.6 Termómetro digital utilizado.....	47
Figura 3.7 Puntos de muestreo de cada biorreactor	48
Figura 4.1 Valores de temperatura durante el Bioproceso.....	53
Figura 4.2 Valores de humedad relativa durante el Bioproceso.....	55
Figura 4.3 Valores de pH durante el Bioproceso	56
Figura 4.4 Valores de humedad durante el Bioproceso	57
Figura 4.5 Grumo de gallinaza al final del tratamiento T4.....	58
Figura 4.6 Restos del grumo de gallinaza humedecido	58
Figura 4.7 Valores de sólidos volátiles durante el bioproceso	59

Figura 4.8 Relación sólidos volátiles/sólidos totales durante el bioproceso	60
Figura 4.9 Material disgregado obtenido del tratamiento T4	63
Figura 4.10 Material compactado obtenido del tratamiento T4	63
Figura 4.11 Hongo presente en el blanco (T1) en la semana 4	64

SIMBOLOGÍA Y SIGLAS

AGROCALIDAD:	Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitario
ASOPEC	Asociación de Productores Pecuarios de la Sierra Central
DANE:	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
DBO:	Demanda Biológica de Oxígeno
DQO:	Demanda Química de Oxígeno
EPA:	Environmental Protection Agency
FAO:	Food and Agriculture Organization
HR:	Humedad relativa
INEN:	Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización
INIAP:	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias
INTA:	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
MAG:	Ministerio de Agricultura
NPK:	Nitrógeno total, P ₂ O ₅ , K ₂ O
SENAGUA:	Secretaría Nacional del Agua
SV:	Sólidos volátiles
ST:	Sólidos totales

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la degradación de la gallinaza de jaula, fresca, mediante la utilización del escarabajo del estiércol, *Alphitobius diaperinus*, para determinar el grado de estabilización de la gallinaza en función del tiempo y el número de individuos detritívoros.

Se inicia con el muestreo de la gallinaza fresca y de los organismos detritívoros desde una granja avícola. Posteriormente, se realizaron los correspondientes análisis físicos, químicos y microbiológicos de la gallinaza para seguidamente ser colocada junto con los escarabajos en biorreactores experimentales de 35x37x30 cm³. El estudio procede variando la relación entre masa de escarabajos por masa de sustrato (g escarabajos /kg sustrato), obteniendo 3 proporciones: 12.5 g/kg (T2), 25 g/kg (T3) y 50 g/kg (T4), a partir de las cuales se definió la mejor proporción. Para este fin, se monitoreó diariamente la temperatura ambiental, humedad relativa (HR) y temperatura de los biorreactores. Por otro lado, se monitoreó semanalmente la humedad del sustrato, pH, sólidos volátiles y totales, durante un periodo de 14 semanas. Para determinar el grado de estabilización de la gallinaza, se analizó la intensidad del olor, material disgregado, además de considerar que la relación entre sólidos volátiles y sólidos totales (SV/ST) debe ser menor o igual al 30% para considerar estabilizado el residuo. De esta forma, se obtuvo que el tratamiento T4 fue el más cercano a estabilizarse en la semana 14, con una relación SV/ST de 47.82%. Finalmente, para determinar su potencial uso como enmienda orgánica, los parámetros físicos, químicos y microbiológicos fueron comparados con la normativa vigente en el país. Con base a ello, se concluye que el residuo obtenido del tratamiento T4 aún no se encuentra estable y necesita hidratarse y degradarse hasta obtener una relación SV/ST de al menos 30% para poder ser utilizado como enmienda orgánica en suelos ligeramente ácidos, comprobándose además la ausencia de *E. Coli*, *Salmonella* y fitopatógenos.

Palabras Clave: Gallinaza de jaula, escarabajo del estiércol, enmienda orgánica.

ABSTRACT

This research aimed to evaluate the degradation of fresh cage manure stabilization using the darkling beetle, *Alphitobius diaperinus* to determine the stabilization degree of manure as a function of time and the number of detritivore individuals.

It began with sampling of fresh chicken manure and detritivore organisms from a poultry farming. Subsequently, physical, chemical, and microbiological analyzes of the chicken manure were carried out to then be placed with the beetles in experimental bioreactors of 35x37x30 cm³. The study proceeds by varying the relationship between mass of beetles per mass of substrate (g beetles / kg substrate), obtaining 3 proportions: 12.5 g / kg (T2), 25 g / kg (T3) and 50 g / kg (T4), from which the best proportion was defined. For this purpose, the environmental temperature, relative humidity (RH) and temperature of the bioreactors are monitored daily. Otherwise, the substrate moisture, pH, volatile and total solids were monitored weekly for 14 weeks. To determine the degree of stabilization of the chicken manure, the intensity of the odor, disintegrated material was analyzed, in addition to considering that the relationship between volatile solids and total solids (SV / ST) must be less than or equal to 30% to consider the residue stabilized. In this way, it was obtained that the T4 treatment was the closest to stabilizing at week 14, with a SV / ST ratio of 47.82%. Finally, to determine its potential use as an organic amendment, the physical, chemical and microbiological parameters were compared with the current regulations in the country. Based on this, it is concluded that the residue obtained from the T4 treatment is not yet stable and needs to be hydrated and degraded until obtaining a SV / ST ratio of at least 30% in order to be used as an organic amendment in slightly acidic soils. the absence of E. Coli, Salmonella and phytopathogens.

Keywords: Cage manure, darkling beetle, organic amendment.

PRESENTACIÓN

El presente proyecto investigó la influencia del escarabajo (*Alphitobius diaperinus*) como un agente en el tratamiento de la gallinaza de jaula. El trabajo contiene cinco capítulos que se describen a continuación:

En el Capítulo 1, Introducción, se describe los antecedentes, los objetivos, la justificación y el alcance del presente estudio.

En el Capítulo 2, Marco Teórico, se aborda los fundamentos teóricos que respaldan y constituyen la base para la comprensión de las enmiendas y fertilizantes orgánicos, conceptos que clave en este trabajo. Se incluye además información sobre el sector avícola en Ecuador y la estabilización de los residuos que éste genera.

En el Capítulo 3, Metodología, se describe la base metodológica tomada a partir de estudios similares y los equipos e instrumentos empleados durante la fase experimental.

En el Capítulo 4, Resultados y Discusión, se presenta los resultados obtenidos y su análisis en función de la teoría descrita en el capítulo 2. Se define la mejor eficiencia de tratamiento de la gallinaza y el potencial uso como enmienda orgánica.

En el Capítulo 5, Conclusiones y Recomendaciones, se presenta las conclusiones y recomendaciones obtenidas, respondiendo a los objetivos planteados y resaltando las observaciones más importantes como recomendaciones para trabajos posteriores.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Según la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC, 2018), se registraron 7'589.624 gallinas ponedoras en planteles avícolas del Ecuador para el año 2018. Estos planteles además de generar productos para el consumo humano producen varios residuos, siendo el más importante por su volumen de generación, las excretas diarias de las gallinas, cuya cantidad y características dependen de la especie, edad, dieta y salud de las aves. Una estimación de excretas diarias para 1.000 gallinas ponedoras se sitúa alrededor de 120 kg (FAO, 2013).

Este residuo al mezclarse con plumas, restos de alimento y huevos rotos es conocido como gallinaza de jaula, la cual se caracteriza por poseer un alto contenido de humedad, nutrientes y materia orgánica inestable, que pueden causar la contaminación de suelos y aguas, generar olores desagradables, propiciar la proliferación de vectores y microorganismos patógenos, cuando es utilizada como abono mientras se encuentra fresca (M. Estrada, 2005).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar la cinética de estabilización de la gallinaza de jaula, mediante el uso del escarabajo del estiércol (*Alphitobius diaperinus*) como organismo detritívoro, para obtener un subproducto que pueda ser usado en la agricultura como enmienda orgánica.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar la gallinaza de jaula, mediante análisis físicos, químicos y microbiológicos, para determinar sus condiciones antes de la estabilización.
- Implementar reactores a escala de laboratorio, utilizando como individuos de estudio escarabajos adultos de la especie *Alphitobius diaperinus* y gallinaza

de jaula como sustrato, para que el residuo avícola pueda ser estabilizado en un tiempo determinado.

- Determinar periódicamente las propiedades físicas, químicas y biológicas del contenido de los reactores mediante muestro y análisis de laboratorio, para analizar las variaciones en función del tiempo.
- Caracterizar el residuo final obtenido y comparar sus propiedades físicas, químicas y biológicas con referencias bibliográficas, para determinar su uso potencial como enmienda orgánica.

1.3 ALCANCE

La ejecución de este trabajo de investigación generará información técnica sobre la aplicabilidad del escarabajo del estiércol (*Alphitobius diaperinus*) en la estabilización de la gallinaza de jaula, lo cual permitirá establecer los tiempos requeridos para este proceso, en función de una densidad de individuos y sustrato inicial.

El trabajo constituirá un aporte técnico debido a que no existe en la bibliografía revisada, datos sobre la cinética de estabilización de gallinaza de jaula a través de este escarabajo, tampoco una caracterización física, química y biológica del material resultante del proceso, sino únicamente su ciclo de vida y mecanismos de control de la especie *Alphitobius diaperinus*, debido a que es considerada una plaga en producciones avícolas de carne.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La metodología a utilizar en la ejecución de este trabajo de investigación se basó en estudios técnicos realizados con el escarabajo del estiércol o especies de la misma familia, y en estudios relacionados con la gallinaza de jaula.

Para la fase de recolección de la gallinaza, se escogió un galpón automatizado que cuenta con bandas que transportan la gallinaza fresca. A través de estas bandas se recolectó en fundas plásticas una cantidad aproximada de 100 kg, para su posterior homogenización y caracterización inicial por parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el laboratorio. La gallinaza sobrante se utilizará como sustrato para el proceso de estabilización a llevar a cabo en biorreactores estáticos.

Los bioensayos de estabilización se llevaron a cabo en recipientes plásticos, de

dimensiones recomendadas por Arellano & Velásquez (2007), para la cría de invertebrados. La cantidad de individuos que se utilizará como base estará en función de la proporción que utilizó Sarmiento (2018), para la reproducción de escarabajos de la especie *Tenebrio molitor* (50 g de escarabajos en 1 kg de sustrato) pero esta proporción se variará para analizar la incidencia que tiene en el tiempo de estabilización, mientras que la cantidad de gallinaza inicial estará en función de la masa requerida para cada ensayo durante el monitoreo del bioproceso.

Para el tiempo estimado del bioproceso de estabilización, se tomó como base un periodo de 14 semanas, similar al que observó Llumiquinga & Parra (2018), en su estudio sobre vermicompostaje para la estabilización de lodos. Para los parámetros de monitoreo semanal se han escogido los mismos analizados por Encarnación & Enríquez (2014) en su reactor anaerobio de alta concentración de sólidos volátiles, mientras que para los parámetros de observación diaria se han escogido igualmente los registrados por Llumiquinga & Parra (2018), y debido a que la temperatura ambiente y humedad relativa son influyentes en la reproducción del escarabajo del estiércol, se ha escogido monitorearla diariamente mediante un termómetro higrómetro digital similar al utilizado en laboratorio por (Armani et al., 2015).

Finalmente, para poder caracterizar el residuo estabilizado y determinar si es posible usarlo como enmienda orgánica, es necesario analizar parámetros secundarios como, nitrógeno total, fósforo (P_2O_5), potasio (K_2O), coliformes totales, coliformes fecales y materia orgánica (MAG & AGROCALIDAD, 2018), pero al no ser objeto de estudio la cinética de estos parámetros, únicamente se realizó su análisis en el tratamiento que se encuentre más estable.

El presente trabajo generará una base técnica para promover el estudio del escarabajo del estiércol, en planteles avícolas que se dediquen a la producción de huevos mediante explotaciones en jaula. Los avicultores o futuros investigadores podrán estudiar otros parámetros y desarrollar un método de tratamiento de la gallinaza de jaula, basado en la utilización de este escarabajo, para poder determinar su viabilidad técnica, ambiental y económica en este tipo de planteles.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 SECTOR AVÍCOLA EN ECUADOR

La avicultura se define como el conjunto de actividades relacionadas con la cría, desarrollo, mantenimiento y cuidado de las aves de diferentes especies domesticadas (pollitos, pollitas, gallinas, pavos, avestruces y codornices) que tienen como finalidad la explotación comercial de carne, huevos y subproductos para el consumo humano (Morocho, 2014).

La actividad Avícola en el Ecuador, ha sido considerada como un sector de la producción muy dinámico dentro del sector agropecuario en las tres últimas décadas. El aumento progresivo en las cifras del consumo de carne, huevos y subproductos en todos los niveles sociales de la población, ha promovido la industrialización de este sector productivo (Vargas, 2016).

Según INTA (2018), la avicultura es un sistema complejo que incluye un gran número de factores que permiten el desarrollo de la crianza de aves, entre los factores a considerar para el manejo de una producción avícola industrializada destacan los siguientes:

- Razas o líneas avícolas
- Alimentación y suplementos
- Calendario de vacunación y control de los ciclos de desarrollo
- Adecuación de instalaciones
- Disposición y manejo de residuos y desechos

La actividad avícola industrializada abarca tres tipos de producción; son la producción huevos y carne las de cuentan con un mayor número de planteles avícolas en el país, por otro lado las existen granjas cuyo objetivo es la producción de aves de reposición, pollitas en buenas condiciones de salud que fueron destinadas al reemplazo de gallinas adultas que hayan cumplido con su ciclo de producción (Sánchez, 2013).

Las condiciones de manejo y bioseguridad son diferentes para cada tipo de producción avícola diferenciándose principalmente en la alimentación y en el tipo de instalaciones (Carhuancho, 2012), la industria destinada a la producción de carne elabora programas de nutrición que estimulen la formación muscular y la industria de producción de huevos se basa en dietas de fortalecimiento óseo (Romero, 2015).

Las industrias de producción de aves se especializan en una actividad específica (carnes, huevos o reemplazo) y no en varias, permitiendo con ello mantener un control profesional de los factores involucrados en el desarrollo de los planteles y también la gestión adecuada de los desechos producidos, con el fin de evitar la contaminación ambiental que podría ocasionar (AGROCALIDAD, 2017).

2.2 LOCALIZACIÓN DE GRANJAS AVÍCOLAS

Para desarrollar este tipo de actividad es necesario tener en cuenta las disposiciones de regulación planteadas por el o los organismos gubernamentales competentes, como son el Ministerio de Ambiente que emite el Certificado de Intersección, el Municipio que otorga el Permiso de Uso de Suelo, Permiso de Uso de Agua obtenido en SENAGUA y el Registro de la Granja que es emitido por Agrocalidad (Sánchez, 2013).

Según FAO (2013), la localización de los planteles avícolas debe ser en un espacio territorial que cumpla con los siguientes requisitos:

- No produzca ningún tipo de impacto ambiental negativo sobre las reservas naturales de su alrededor
- Respete la distancia establecida con las poblaciones vecinas para no afectar la calidad de vida sus habitantes
- Mantenga un distanciamiento prudente con otras granjas productoras y/o de faenamiento
- Los planteles avícolas no pueden estar ubicados en zonas industriales donde la producción de gases de combustión es alta ni cerca de rellenos sanitarios

- Los recintos avícolas deben ubicarse en zonas libres de pantano, humedad excesiva y lagos
- Tenga el suficiente espacio para la gestión de la disposición final de los desechos y residuos generados

2.1.1 PRODUCCIÓN AVÍCOLA EN PISO

Perez & Villegas (2009), mencionan que el proceso de crianza de pollos de engorde en los planteles avícolas es desarrollado en su totalidad en instalaciones conocidas como modalidad de piso. Los pisos de los galpones son acondicionados con una cubierta de material esponjoso conocido como colchón o cama. Entre las principales características del colchón para los pisos están:

- Buena capacidad de absorción de humedad
- Buen aislante térmico
- Esponjoso y poroso
- Exento de hongos
- Ausente de polvo y mal olor

Algunos materiales utilizados como colchón para las camas son: viruta, cascarilla de arroz, paja de trigo, tusa de maíz triturada, arena, etc. De los materiales mencionados el más empleado es la viruta ya que cumple con la mayor parte de las características requeridas (ArborAcres, 2009).

2.1.1 PRODUCCIÓN AVÍCOLA EN JAULA

La producción avícola en jaula se caracteriza por su diseño y distribución de las instalaciones dentro del galpón (AGROCALIDAD, 2017). Para evitar el confinamiento de las aves y proveerles comodidad es necesario tener en cuenta que por cada jaula pueden acomodarse de 4 a 5 gallinas. Las dimensiones de las jaulas deben asegurar que cada ave disponga de 750 cm² para su desplazamiento, además cada jaula debe tener una altura mínima de 45 cm (Castelló, 2011).

Debido a que las aves permanecen en un mismo sitio durante todo su ciclo productivo, disponen de comederos y bebederos fijos que evitan su movimiento, además de ello las instalaciones cuentan con espacios bajo las jaulas en donde se recogen las deyecciones de las aves (Vargas, 2016).

En los galpones, debajo de las jaulas de las gallinas ponedoras, las deyecciones forman apilamientos que deben ser limpiados periódicamente cada dos días para impedir el ascenso de la humedad del medio, desprendimiento de malos olores y apareamiento de moscas (Molina, 2013).

Para mantener una administración correcta de los galpones (Chore-Time, 2017) recomienda que se deben considerar las siguientes disposiciones:

- Asegurar una ventilación adecuada
- Controlar las fugas y/o filtraciones de agua para impedir la humectación de desechos de las aves
- Mantener una distancia prudente entre la jaula y piso de a 0.75 a 1 m
- Elaborar un registro de limpieza y desinfección semanal

Las empresas dedicadas a la producción de huevos no requieren de gallos reproductores, ya que las líneas de aves con las que se maneja son exclusivamente ponedoras, como ejemplo se tiene Isa Brown, Bovans o Hy Line (Vargas, 2016).

El ciclo de producción de las aves de postura inicia cuando alcanzan de 18 a 20 semanas de edad y finaliza cuando han cumplido 60 semanas de producción, en promedio este ciclo finaliza a las 80 semanas de vida. Las aves de esta edad presentan condiciones físicas muy deficientes por lo cual no pueden ser destinadas a consumo y su disposición final es el descarte (Mullo, 2012).

Los productores de gallinas ponedoras manejan una densidad de aves por área de 6 a 8 gallinas/m², la conversión alimenticia para la producción de huevos es de 6 kg de alimento consumido para una postura de 16 huevos (Morocho, 2014).

El consumo de agua en los planteles avícolas es otro aspecto importante de la producción, independientemente de la actividad específica de la industria (carne, huevos o reemplazo) el agua debe suministrarse considerando que se dan pérdidas de agua por la respiración, transpiración y la excreción. Como consideración general se señala que debe existir un bebedero por cada 100 aves (Galeano, 2014).

2.1.1 RESIDUOS DE GRANJAS AVÍCOLAS

Los planteles de producción de huevos generan varios residuos, siendo el más importante por su volumen de generación, las excretas diarias de las gallinas, cuya cantidad y características dependen de la especie, edad, dieta y salud de las aves. Una estimación de excretas diarias para 1000 gallinas ponedoras se sitúa alrededor de 120 kg (FAO, 2013).

Según la Encuesta de Producción y Superficie Continúa 2019, se registraron 8' 936. 553 gallinas ponedoras en Ecuador para ese año (INEC, 2019). Por lo que, asumiendo la tasa diaria de 120 kg de excretas por cada 1000 aves, se esperaría una producción a nivel nacional de 391421 ton/año.

Las deyecciones de las aves de postura al mezclarse con plumas, restos de alimento y huevos rotos son conocida como gallinaza de jaula, la cual se caracteriza por poseer un alto contenido de humedad, nutrientes y materia orgánica inestable, mientras que las excretas de la producción de aves de engorde al mezclarse con el material de la cama y residuos de alimentos es denominado como pollinaza (Mullo, 2012). Los residuos de producciones avícolas pueden causar la contaminación de suelos y aguas, generar olores desagradables, propiciar la proliferación de vectores y microorganismos patógenos, cuando es utilizada como abono mientras se encuentre fresca (M. Estrada, 2005).

Los residuos de las explotaciones avícolas de engorde y de postura difieren en características físicas y composición química, debido a las diferencias de alimentación, edad del ave, tiempo de estadía en el corral o jaula, momento de remoción y forma de apilamiento (M. Estrada, 2005).

Como información general se ha establecido que una tonelada de estiércol fresco ofrece cantidades de los tres macronutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas, que son Nitrógeno, Fósforo y Potasio, pero al no gestionarse de manera adecuada, mediante algún proceso de compostaje, y exponerlo a las condiciones de la intemperie los aportes de los nutrientes descienden (Perez & Villegas, 2009).

El contenido de humedad de la gallinaza de jaula y pollinaza es diferente, la viruta o el material del colchón remueve la humedad de la pollinaza, mientras que la gallinaza conserva su humedad porque no está en contacto con superficies

absorbentes. La pollinaza tiene un porcentaje de humedad de 25.8 ± 0.2 y la gallinaza 57.8 ± 0.2 (Galeano, 2014).

Las deyecciones secas presentan una composición de nutrientes más concentrada y un menor tamaño de partícula, el proceso de secado debe ser controlado y relativamente rápido, un proceso de secado lento posee un mayor riesgo de pérdida de nutrientes por volatilización, afectando así su valor nutricional como abono y generando contaminación ambiental (Polo, 2014). A continuación, se presenta la composición de gallinaza de jaula y pollinaza en base seca (Tabla 2.1).

Tabla 2.1 Composición nutritiva de excretas de aves en base seca

Nutrientes [%]	Pollinaza	Gallinaza de jaula
Proteína bruta	31.3	29.7
Proteína verdadera	25.4	12.3
Proteína digestible	21.3	14.4
Cenizas	15	28
Calcio	2.4	8.8
Fósforo	1.8	2.5
Magnesio	0.48	0.92
Sodio	0.54	0.94
Potasio	1.78	2.44

Fuente: Galeano, (2014)

Elaborado por: Jorge Enríquez

Como lo señala Polo (2014), la composición nutritiva de la gallinaza varía según el tipo de almacenamiento que se maneje, así se lo indica en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Composición nutritiva de la gallinaza de jaula en función del tipo de almacenamiento

Tipo	Humedad [%]	Nitrógeno [%]	Ácido fosfórico [%]	Potasio [%]
Fresca	70 - 80	1.1 – 1.6	0.9 – 1.4	0.4 – 0.6
Acumulada unos meses	50 - 60	1.4 – 2.1	1.1 – 1.7	0.7 - 1
Almacenada en trinchera	12 - 25	2.5 – 3.5	2 - 3	1.4 - 2
Desecada industrialmente	7 - 15	3.6 – 5.5	3.1 – 4.5	1.5 – 2.4

Fuente: Castelló et al., (1989) citado por Carhuancho, (2012)

Elaborado por: Jorge Enríquez

Dentro de la caracterización de la gallinaza se encuentran algunos parámetros físicos y químicos que permiten complementar la composición nutritiva, los cuales son:

- **Potencial Hidrógeno (pH):** Indica la concentración de iones de hidrógeno presente en una solución o representa el nivel de acidez o alcalinidad de la misma (Goyenola, 2007). El pH se mide en una escala logarítmica que varía de 0 a 14, un pH de 7 indica una sustancia neutra, cualquier valor por debajo de 7 indica que la sustancia es ácida, siendo 1 la más ácida y 7 la menor; mientras que cualquier valor superior a 7 indica que la sustancia es alcalina, un valor sobre 7 representa el valor más bajo de alcalinidad y 14 es el más alcalino (Vásquez & Rojas, 2016).
- **Densidad aparente:** Es una propiedad de un cuerpo o materia, que se define como la masa que ocupa la materia en una unidad de volumen definido (Vásquez & Rojas, 2016).
- **Cenizas:** La cantidad de cenizas hace referencia a los residuos minerales sólidos, obtenidos luego de un proceso de calcinación a temperaturas entre 500 - 600 °C (UNAM, 2008).
- **Sólidos volátiles:** Indican la cantidad de materia orgánica que permanece en el residuo luego del proceso de secado, pero que son perdidos al momento de someter a calcinación lo sobrante (Arias, 2010).
- **Nitrógeno total:** Representa la suma del nitrógeno inorgánico, el nitrógeno orgánico y el amoníaco, el nitrógeno total es determinado comúnmente

mediante el método Kjeldahl. El nitrógeno total determina el nitrógeno capaz de ser nitrificado a nitritos y nitratos, que en altas concentraciones generan contaminación de los suelos (N. Romero, 2006).

- Materia orgánica: Se refiere a la fuente de compuestos a base de carbono que están en los compuestos, la materia orgánica está formada por moléculas orgánicas provenientes de restos de organismos (plantas y animales) y sus productos de desecho. La materia orgánica participa activamente en la movilidad de nutrientes en suelo y en la retención de agua en la superficie del planeta (Cajamarca, 2012).
- Conductividad: La conductividad del suelo o de residuos agrícolas indica la cantidad de sales solubles en la solución de sustrato. Debido a que las sales disueltas y otras sustancias químicas inorgánicas conducen la corriente eléctrica, un valor de conductividad alto refleja una mayor salinidad (López et al., 2001).
- Demanda Biológica de Oxígeno (DBO): Se define como la cantidad de oxígeno demandada por los organismos biológicos aerobios para descomponer el material orgánico presente en el agua, medida a cierta temperatura durante un período de tiempo específico (20 °C; 5 días). El valor de DBO se expresa más comúnmente en miligramos de oxígeno consumidos en un 1 litro de agua, este parámetro permite definir el nivel de contaminación del agua (M. Navarro, 2007).
- Demanda Química de Oxígeno (DQO): Representa la cantidad total de compuestos orgánicos oxidables, medidos por la cantidad de oxígeno que actúa como agente oxidante presente en una muestra de agua (C. Rodríguez, 2007).

La Tabla 2.3 presenta los parámetros físico - químicos de la gallinaza.

Tabla 2.3 Parámetros físico-químicos de gallinaza de jaula

Parámetros	Valor
Humedad	57.8 %
pH	8 - 9
Densidad aparente	0.57 g/cm ³
Cenizas	23.7 %
Sólidos volátiles	0.2 – 0.4 g/g muestra
Nitrógeno total	3 - 12 mg/g muestra
Nitrógeno amoniacal	3 - 7 mg/g muestra
Materia orgánica	34.1 %
Carbono orgánico	19.8 %
Conductividad	6.9 mS/cm
DBO	200 - 400 mg O ₂ /g muestra
DQO	200 - 500 mg O ₂ /g muestra

Fuente: CINSET, (1998) y Peláez et al., (1999), citado por Estrada, (2005)

Elaborado por: Jorge Enríquez

Varios estudios han concluido que las deyecciones de las aves poseen un alto valor nutritivo que aportan a la mejora de las condiciones del suelo y del crecimiento de las plantas, así también las excretas son un medio rico en nutrientes para el crecimiento de microorganismos, como coliformes fecales, que provocan enfermedades en humanos (M. Estrada, 2005). Las Tablas 2.4 y 2.5 presentan el análisis microbiológico de gallinaza y pollinaza, respectivamente.

Tabla 2.4 Análisis microbiológico de gallinaza fresca

Microorganismo	Valor [ufc/g]
Bacterias viables	1.19 x 10 ¹⁰
Lactobacilo	1.81 x 10 ¹⁰
Levaduras	9.6 x 10 ⁷
Coliformes fecales	5.67 x 10 ⁹

Fuente: Carhuancho, (2012)

Elaborado por: Jorge Enríquez

Tabla 2.5 Análisis Microbiológico de pollinaza fresca

Microorganismo	Valor [ufc/g]
Bacterias totales	6.8×10^6
Hongos totales	2.6×10^4
Coliformes fecales	3.2×10^2
Salmonellas	-

Fuente: Carhuancho, (2012)

Elaborado por: Jorge Enríquez

Estrada (2005), señala que los nutrientes de la gallinaza requeridos por los microorganismos descomponedores deben encontrarse en relación carbono/nitrógeno (C/N) de 20 - 30/1; sin embargo, la relación C/N de la gallinaza es únicamente de 6 - 10/1, por lo que es necesario incorporar a la mezcla residuos vegetales de las cosechas, aserrín o paja.

Tanto en la gallinaza como en la pollinaza están presentes, de forma natural e inevitable, poblaciones de microorganismos que en la mayoría de las ocasiones son considerados como organismos beneficiosos en el ámbito ambiental. Estos microorganismos beneficiosos están involucrados en diversos ciclos de nutrientes relacionados con el carbono, fósforo, nitrógeno, azufre y en la misma estabilidad de los residuos agrícolas; sin embargo, también podrían crecer poblaciones de microorganismos patógenos que son perjudiciales para la salud humana y ambiental (Williams, 2011).

El aporte de nutrientes al suelo por parte de la gallinaza es reconocido por la mayor parte de producciones agrícolas, sin embargo, el manejo deficiente de la gallinaza podría representar una potencial fuente de contaminación para el agua, suelo y aire (AGROCALIDAD, 2017).

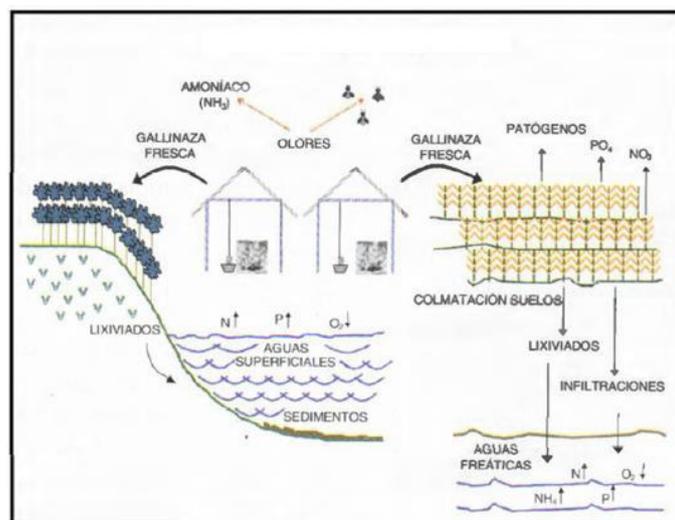
El daño ambiental generado por un mal manejo de la gallinaza y el efecto que ocasiona sobre los componentes ambientales son:

- **Agua:** el efecto que genera la gallinaza sobre el agua es altamente contaminante, debido al elevado nivel de nutrientes y materia orgánica. Tanto los nutrientes como la materia orgánica demandan de una gran

concentración de O_2 para poder descomponerse u oxidarse y como consecuencia la cantidad de oxígeno en el agua desciende, este efecto es denominado eutrofización y es medido en función del DQO (Carhuancho, 2012).

- **Aire:** la descomposición de la gallinaza provoca la volatilización de amoníaco, sulfuro de hidrógeno y compuestos orgánicos volátiles, que incrementan la acidez del aire y producen olores desagradables (Mullo, 2012).
- **Suelo:** la gallinaza aplicada sin ningún tipo de tratamiento de estabilización genera el taponamiento de los poros del suelo que provoca la pérdida de capacidad de drenado, otro daño originado por el alto contenido de sales es el aumento del pH básico del suelo y con ello el descenso del crecimiento de microorganismos benéficos (Carhuancho, 2012). Así otro impacto ambiental producido por los nutrientes y materia orgánica de la gallinaza es la disminución de oxígeno, que impide el proceso de mineralización de nitrógeno y que ocasionaría intoxicación a las plantas (Simon, 2017).

Figura 2.1 Impacto Ambiental ocasionado por los planteles Avícolas



Fuente: Rivera et al., (2000) citado por (Carhuancho, 2012)

A través de los años se han desarrollado técnicas que gestionan responsablemente las deyecciones de las aves, que permiten obtener productos funcionales y viables para ser empleados en actividades agrícolas, industriales o energéticas; disminuyendo así el impacto ambiental que provoca el uso de la gallinaza sin tratamiento (Uribe et al., 2001).

El tratamiento adecuado y eficiente de los desechos avícolas permite obtener algunos productos con valor económico como: fertilizantes y enmiendas orgánicas, biol y biogas; los tratamientos para la obtención de los productos mencionados son conocidos como “métodos de estabilización de la gallinaza” y cada uno de ellos difiere entre sí (Castillo & Chiluisa, 2011).

La estabilización de los residuos orgánicos tiene como objetivo eliminar los malos olores y vectores, reducir la carga microbiana de patógenos, reducir el contenido de humedad y disponer adecuadamente los productos obtenidos (Valencia, 2008).

Los tratamientos de estabilización de la materia orgánica involucran procesos como: reducción biológica de la concentración de sólidos volátiles, oxidación química de la materia volátil, adición y aplicación de tratamientos calóricos que inhiban el crecimiento de microorganismos patógenos (Llumiquinga & Parra, 2018).

La gallinaza es un residuo que debe ser visto como la materia prima para generar fuentes energéticas y productos de valor agregado, lo cual favorece a la economía de los recintos avícolas y permite mantener la sostenibilidad de la producción (FAO, 2013).

2.3 MÉTODOS CONVENCIONALES DE ESTABILIZACIÓN DE RESIDUOS AVÍCOLAS

La estabilización de la gallinaza tiene como objetivos principales; reducir el número de patógenos, eliminar malos olores, reducir la humedad para hacerlo más manejable y disminuir su alto contenido de materia orgánica.

Un parámetro que se utiliza para establecer el grado de estabilización de un residuo orgánico es la relación de sólidos volátiles y sólidos totales (SV/ST), para la cual existen varios criterios; para residuos orgánicos vegetales Encarnación & Enríquez (2014) indican que el porcentaje de SV/ST debe ser 30% o menor para considerar estabilizado al residuo. Para el caso de lodos residuales domésticos Cattani (2018) cita que para que el lodo sea considerado estable debe tener un porcentaje de al menos 60 %, considerándolo más estable si la relación es menor. Pero recalca que el número de microorganismos patógenos también fue determinante para considerarlo estable.

Por otro lado Llumiquinga & Parra (2018), citan que para considerar estable un lodo de plantas de tratamientos de aguas residuales, mediante la técnica de vermicompostaje, la relación SV/ST debe ser menor al 30%. Este criterio coincide con el de Encarnación & Enríquez (2014) por lo que para el caso de nuestro residuo asumiremos que la relación sólidos volátiles sobre sólidos totales debe ser menor o igual al 30% para considerarse estabilizado.

A continuación, se presentan algunas opciones de manejo que permiten la estabilización de la gallinaza de jaula.

2.3.1 BIODIGESTIÓN

La biodigestión es un proceso microbiológico complejo de descomposición, de la materia orgánica, controlado bajo condiciones de anaerobiosis, el ambiente anaerobio permite la degradación de los residuos. Este proceso ejecutado en biorreactores posibilita la obtención de efluentes que pueden ser utilizados como fertilizantes orgánicos y también la producción de bioenergía (Toala, 2013).

El proceso de digestión anaerobia involucra un conjunto de reacciones químicas mediadas por distintos microorganismos, los productos obtenidos de este proceso son: biogás, biol y biosol.

Carhuancho (2012) indica que existen cuatro etapas relacionadas en la biodigestión anaerobia, los cuales son presentadas a continuación:

1. Hidrólisis

La materia orgánica de la gallinaza que está compuesta por moléculas de proteínas, carbohidratos y una fracción de lípidos son hidrolizadas, por la acción de enzimas producidas por las bacterias facultativas, a moléculas orgánicas asimilables y que servirán como sustrato para el crecimiento y acción de los microorganismos para las siguientes etapas.

Las moléculas resultantes de la hidrólisis enzimática son azúcares simples, ácidos grasos y aminoácidos, además se producen cantidades pequeñas de iones amonio y amoníaco lo cual es inevitable debido a la hidrólisis de proteínas presentes en la gallinaza (Reyes, 2017).

Los factores de los cuales depende una hidrólisis eficiente son: temperatura de proceso, tiempo de retención, tamaño de partícula, composición del sustrato, concentración de inhibidores (NH_4) y pH. Un limitante en esta primera fase suele ser la concentración lignina, por su alta resistencia a la degradación por las bacterias anaerobias (Amado & Prada, 2012).

2. Acidogénesis

La acidogénesis es una etapa anaerobia en la que se obtiene como producto ácidos grasos de cadena corta (Pérez & Villegas, 2009). Dentro de esta etapa ocurren los siguientes procesos:

Fermentación de los carbohidratos solubles: en esta etapa se contempla la conversión de los glúcidos a ácidos orgánicos mediante la ruta metabólica conocida como glucólisis, los principales microorganismos que interviene en esta fermentación son los *Clostridium*. Los productos resultantes de esta fermentación son ácido butírico, CO_2 e H_2 (Belduma, 2015).

Fermentación de aminoácidos: esta es una etapa de fermentación rápida que permite la obtención de ácidos grasos de cadena corta, ácido succínico e H_2 , a partir de los compuestos proteicos. Las bacterias que actúan en esta etapa son *Clostridium*, *Bacteroides* y *Peptococcus* (Carhuancho, 2012).

Oxidación de ácidos grasos de cadena larga: este proceso involucra reacciones de oxidación anaerobia de los ácidos grasos de cadena larga para obtener ácidos grasos de cadena corta. En este proceso se liberan moléculas de acetil-CoA y es indispensable la presencia de microorganismos consumidores de H_2 que permiten la estabilidad termodinámica del medio (Montesdeoca & Salazar, 2017).

3. Acetogénesis

En esta etapa de degradación los ácidos orgánicos de cadena corta son convertidos a acetato, involucra una reacción de oxidación que no tiene un aceptor de electrones por lo que es necesario la presencia de microorganismos (*Syntrophomonas wolfei* y *Syntrophobacter wolin*) que oxiden los ácidos orgánicos para usar un aceptor de electrones extra como es del CO_2 o el H^+ y que

posteriormente fueron consumidos por los microorganismos involucrados en la metanogénesis (Arce, 2011).

El pH en este punto de la biodigestión está comprendido entre 6,6 - 6,8; además un factor limitante en esta etapa es una alta concentración de iones hidrógeno que se concentran rápidamente en el sustrato, por eso es indispensable la presencia y acción de los microorganismos metanogénicos consumidores de hidrógeno (Carhuancho, 2012).

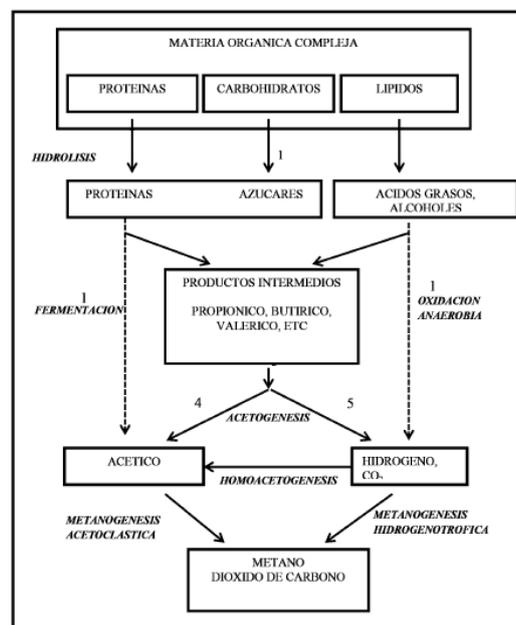
4. Metanogénesis

En esta etapa ocurre la producción misma del metano, la acción de los microorganismos metanogénicos emplean los nutrientes del sustrato resultante de la fase de acetogénesis (acetato, H_2 , CO_2 , ácido fórmico, metanol y algunas aminas) (Reyes Aguilera, 2016).

Existe la conformación marcada en dos grupos de microorganismos que se asocian en función de la afinidad que tengan con el sustrato, entre ellos se tiene los acetoclásticos que consumen acetato, algunas aminas y el metanol, y los hidrogenotróficos que consumen H_2 , CO_2 y ácido fórmico (Inca, 2016).

La Figura 2.2 indica un esquema del proceso de biodigestión de la materia orgánica.

Figura 2.2 Esquema de reacciones involucradas en la digestión anaerobia de materia orgánica



Fuente: Pavlosthatis y Gómez, (1991) citado por Carhuancho, (2012)

Para ejecutar un proceso ambientalmente responsable y rentable deben considerarse los siguientes parámetros (Figura 2.3).

Figura 2.3. Parámetros involucrados en la biodigestión de los residuos orgánicos

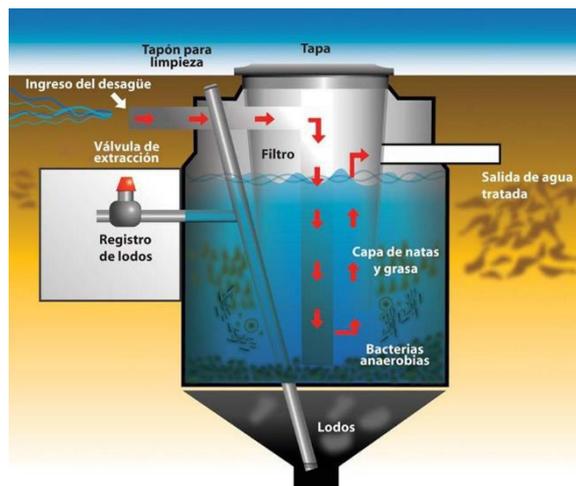
<p style="text-align: center;">SUSTRATO</p> <ul style="list-style-type: none"> - Desechos orgánicos húmedos que contengan carbono, nitrógeno y azufre. - Es importante la proporción de carbono y nitrógeno entre 20 a 30, si la cantidad de nitrógeno aumenta produce la formación de amonio (inhibidor). 	<p style="text-align: center;">TEMPERATURA</p> <ul style="list-style-type: none"> - Factor de gran influencia en la velocidad de reacción de la digestión anaerobia. - El rango mesófilo (20-40 °C) es el más utilizado - Evitar cambios bruscos de temperatura porque provocan la desestabilización del proceso. - La temperatura influye en la solubilidad de los solutos en el medio. - La temperatura y el tiempo de retención están en una relación inversamente proporcional.
<p style="text-align: center;">TIEMPO DE RETENCIÓN</p> <ul style="list-style-type: none"> - Es el tiempo promedio en que la materia orgánica es degradada por los microorganismos. - Se ha observado que para tiempos largos de retención se obtendrá un rendimiento bajo de biogas, pero un biol con excelentes características como fuente de nutrientes. 	<p style="text-align: center;">pH Y ALCALINIDAD</p> <ul style="list-style-type: none"> - El pH determina la producción y composición del de gas, el pH no debe bajar de 6 ni subir de 8, si el pH fuera menos de 6 produciría un biogás pobre en metano que tiene menores cualidades energéticas. - El rango óptimo de pH para los microorganismos involucrados en el proceso está entre 6,5-7,5. - La alcalinidad es una medida de la capacidad tampón del medio.
<p style="text-align: center;">AGITACIÓN - MEZCLADO</p> <ul style="list-style-type: none"> - La agitación permite la remoción de los metabolitos producidos por las bacterias metanógenas. - El mezclado permite mantener uniforme la densidad bacteriana y evitar la formación de espacios "muertos" sin actividad biológica. - Se debe manejar un sistema de mezclado que evite el cizallamiento de los microorganismos. 	<p style="text-align: center;">INHIBIDORES</p> <p>La presencia de inhibidores afecta el rendimiento el proceso, puede ocasionar fallas en el biodigestor e intoxicar a los microorganismos degradadores. Algunos compuestos inhibidores son: Cu, Cr, sulfatos, sulfuros, etc.</p>

Fuente: Carhuacho, (2012)

Elaborado por: Jorge Enríquez

La biodigestión de los residuos orgánicos es desarrollada en recipientes o contenedores cerrados herméticamente, denominados "Biodigestores" (Figura 2.4) (Romo, 2015).

Figura 2.4 Esquema de un biodigestor y sus partes



Fuente: (Rotoplast, 2018)

En los biodigestores se carga una mezcla de excretas, agua y otros residuos orgánicos, estos contenedores son diseñados con características específicas en función del tipo y cantidad de carga a digerir, la relación costo-beneficio que se desee obtener y la aplicación destinada del biogás (Briseño, 2017).

En la Tabla 2.6 se señalan diferentes clases de biodigestores, desde los más simples hasta los más actualizados en tecnología, eficiencia y costo.

Tabla 2.6 Tipos de biodigestores

Tipo de carga	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema Batch • Sistema continuo o semicontinuo
Intensidad de mezcla	<ul style="list-style-type: none"> • Mezcla completa • Mezcla parcial o nula
Manejo del sustrato	<ul style="list-style-type: none"> • Contacto anaeróbico • Upflow Anaerobic Sludge Blanket • Lecho fluidizado • Filtro anaeróbico
Manejo bioquímico	<ul style="list-style-type: none"> • Una etapa • Dos etapas

Fuente: Hilbert, (2006) citado por Perez & Villegas, (2009)

Los productos resultantes de la biodigestión anaerobia son: biogás y efluentes (biol y biosol).

Biogás: es el producto gaseoso resultante de la fermentación anaerobia de los desechos orgánicos, es un combustible de gran contenido energético (Chiriboga, 2010). El biogás producido está constituido por una mezcla de 50-70% de metano (CH_4), 30-40% de dióxido de carbono (CO_2) y cantidades mínimas de ácido sulfhídrico (Carhuacho, 2012). El biogás producido es un excelente sustituto del gas propano (Navarro, 2017), sus características son presentadas en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7 Caracterización de biogás

Característica	Valor
Contenido energético	6.0 - 6.5 kW-h/m ³
Equivalente de combustible	0.60 - 0.65 L petróleo/m ³ biogás
Límite de explosión	6 - 12% de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 - 750 °C
Presión crítica	74 - 88 atm
Temperatura crítica	- 82.5 °C
Densidad normal	1.2 kg/m ³
Masa molar	16.043 kg/kmol

Fuente: FAO, (2011)

Efluentes: es el lodo resultante de la digestión anaerobia, están constituidos por el 10% de una fase sólida denominada “biosol” y el 90% de una fase líquida definida como “biol” (Córdova & Miño, 2015). El biosol es conocido como un abono sólido orgánico y enriquecido en macro y micronutrientes que estimula el crecimiento de las raíces y tallo de las plantas (Ramos, 2014). El biol, que comprende la parte líquida del efluente, es aplicado como un abono foliar ya que cuenta con un alto contenido de fitohormonas. La Tabla 2.8 presenta la composición bioquímica del biol (Carhuacho, 2012).

Tabla 2.8 Caracterización Bioquímica del biol

Compuesto	Valor [ng/g]
Ácido indol acético	9.0
Giberelina	8.4
Purinas	9.3
Tiamina (Vit B1)	259.0
Riboflavina (Vit B2)	56.4
Ácido fólico	6.7
Ácido pantoténico	142.0
Triptófano	26.0
Cianocobalamina (Vit B12)	4.4
Piridoxina (Vit B6)	6.6

Fuente: Mullo, (2012)

2.3.2 COMPOSTAJE

El compostaje es el proceso de descomposición microbiana aeróbica de la materia orgánica (deyecciones), a nutrientes asimilables para las plantas, mediante acción enzimática los compuestos insolubles son convertidos a compuestos solubles y posteriormente asimilados por los microorganismos como fuente energética para su crecimiento y acción (Calle, 2017).

AGROCALIDAD (2017), quien regula parte de los permisos de operación de los planteles avícolas a nivel nacional, recomienda la utilización de este método para la gestión de la gallinaza.

Los beneficios agronómicos de los residuos compostados incluyen el aumento de nutrientes disponibles para la planta y los residuos húmicos. La inmovilización de nitrógeno (N) y fósforo (P) durante el compostaje reduce el riesgo de que el N y P solubles ingresen a los sistemas acuáticos a través del flujo superficial y la lixiviación (Morocho, 2014).

El compostaje también podría ofrecer soluciones tanto dentro del plantel agrícola como fuera del sitio, permite la utilización de los residuos orgánicos y potencialmente mejorar un sistema de manejo y a la par ofrecer un producto con valor agregado y ambientalmente amigable (Andrade, 2008).

Estrada (2005) señala que existen cuatro etapas dentro del proceso, que permiten obtener un compost o abono orgánico de buenas cualidades, dichas etapas son indicadas a continuación:

1. Mesofílico

En esta etapa la pila de excretas y residuos vegetal se encuentra a temperatura ambiente en la parte externa (18 - 23 °C), pero en el centro del montículo su temperatura es más alta (23 - 32 °C); bajo estas condiciones de temperatura los microorganismos mesófilos crecen con facilidad e inician sus actividades metabólicas, esto produce la liberación de energía y la temperatura de la pila se eleva a 40°C, además se producen ácidos orgánicos que hacen que el pH del medio descienda (Roman et al., 2013).

2. Termofílico

Esta etapa inicia cuando la temperatura del medio ha alcanzado los 40 °C, en este punto los microorganismos termofílicos desarrollan la acción de transformación del nitrógeno en amoníaco, teniendo como consecuencia el cambio de pH de ácido a alcalino (Coronado, 2011).

La temperatura de la pila llega hasta los 60 °C, temperatura a la cual los hongos termófilos mueren o detienen su actividad, mientras que la acción de las bacterias esporógenas y actinomicetos es beneficiada, estos microorganismos descomponen la hemicelulosa, proteínas y ceras (M. Estrada, 2005).

3. Enfriamiento

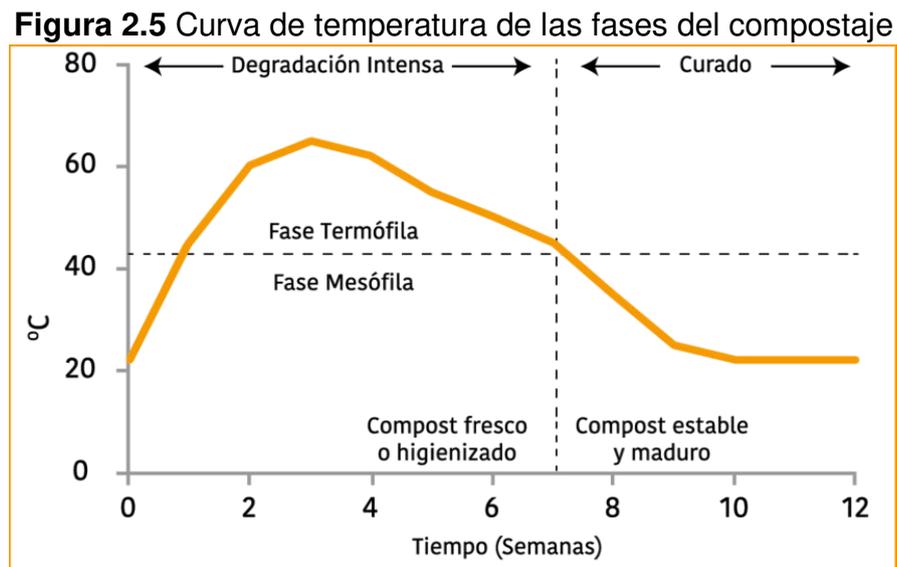
La etapa arranca cuando el montículo ha alcanzado los 60 °C, se mantiene durante un tiempo y posteriormente la temperatura debe descender. En esta fase el crecimiento y actividad de los hongos termofílicos son reactivadas y son los encargados de la degradación de la celulosa. La temperatura continúa descendiendo y al disminuir de 40 °C, los microorganismos mesofílicos retoman su actividad y el pH de la pila disminuye sutilmente (M. Estrada, 2005).

4. Maduración

El periodo de maduración es la etapa más larga del compostaje, es necesario mantener la pila a temperatura ambiente durante dos meses hasta que descienda

totalmente, en este tiempo se producen algunos fenómenos de condensación y polimerización del humus (INFOAGRO, 2019).

La etapa de maduración determina el fin del proceso porque señala que es un producto correctamente estabilizado, aunque el contenido de humedad esté por encima de 55% y por lo tanto actividad de los microorganismos aún esté presente, pero de forma muy reducida (M. Estrada, 2005). La Figura 2.5 representa la curva de las fases de producción de compost.



Fuente: (G. Estrada & Peña, 2017)

Para ejecutar un proceso de compostaje eficiente es importante manejar de forma correcta los siguientes parámetros (Figura 2.6).

Figura 2.6 Parámetros involucrados en el compostaje de la gallinaza

<p style="text-align: center;">NUTRIENTES</p> <ul style="list-style-type: none"> - Los microorganismos que participan necesitan de carbono (fuente de energía) así como de nitrógeno (formación de proteínas). - Los materiales ricos en carbono son color café y secos y los ricos en nitrógeno son verdes y húmedos. - Los micronutrientes son el manganeso, cobre, cobalto y hay una categoría intermedia entre micro y macronutrientes donde están el fósforo, potasio y calcio. - El vidrio, metales, plásticos y telas deben estar ausentes. 	<p style="text-align: center;">RELACIÓN C/N</p> <ul style="list-style-type: none"> - Debe estar de 20-30/1, como la gallinaza presenta tan solo de 6-10/1, para suplir esta deficiencia se proponen mezclas con materiales vegetales tales como: aserrín, paja, desechos de cosecha, etc. - Si la relación C/N es muy elevada, disminuye la actividad biológica y una relación C/N muy baja no ofrece una buena fuente energía.
<p style="text-align: center;">HUMEDAD</p> <ul style="list-style-type: none"> - El exceso de humedad reduce los espacios disponibles para el aire, presentando mayor compactación. - Para ofrecer las condiciones óptimas la humedad debe estar entre 40 y 60%. - Humedad baja: inhibe la actividad microbiana y el proceso se hace lento. - Humedad alta: hace que todos los poros estén copados de agua, evita que el oxígeno esté disponible y hace que la gallinaza se pudra. - La humedad adecuada es cuando al tacto el material debe sentirse húmedo, pero no debe escurrir agua. 	<p style="text-align: center;">TEMPERATURA</p> <ul style="list-style-type: none"> - El ciclo de temperaturas que es ocasionado por la actividad microbiológica. - En operaciones de compostaje en gran escala se recomienda mantener temperaturas mayores de 55 °C por más de 3 días para garantizar la destrucción de patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas.
<p style="text-align: center;">TAMAÑO DE PARTÍCULA</p> <ul style="list-style-type: none"> - La reducción del tamaño de partícula permite tener una mejor aireación. - Se recomienda un tamaño de partícula pequeño para tener un material homogéneo y más manejable, pero no demasiado pequeño para evitar el apelotonamiento. - La reducción del tamaño de partícula aumenta el área superficial. 	<p style="text-align: center;">AIREACIÓN</p> <ul style="list-style-type: none"> - La aireación constituye un factor crítico, porque cuando el oxígeno disponible no constituye un limitante del proceso el tiempo de compostaje se reduce. - La aireación permite el ingreso de O₂ fresco al interior de la mezcla y el transporte de CO₂ al exterior de la pila. - El exceso de aire podría bajar demasiado la temperatura de la mezcla inhibiendo la acción de los microorganismos.

Fuente: AGROCALIDAD, (2017), Calle, (2017), Mullo, (2012) y Perez & Villegas, (2009)

Elaborado por: Jorge Enríquez

Para la elaboración de compost o abono orgánico no se requiere de forma imprescindible de maquinaria o equipos de alta tecnología, es suficiente con adecuar un espacio de terreno donde se pueda acumular la gallinaza y los residuos orgánico sin exponerla a los cambios ambientales como sol, lluvia y vientos fuertes (Espinoza, 2013). Se debe manejar un adecuado control de plagas ya que puede convertirse en un refugio de ellas (Martínez, 2005).

INFOAGRO (2019) señala que existen tres alternativas para realizar el compostaje de gallinaza, los cuales se señalan a continuación:

1. Compostaje en montón: consiste en la formación de un montículo de los residuos dentro de un lote que tenga una cubierta como techo (INFOAGRO,

- 2019). El área de compostaje es proporcional a la cantidad de residuos a fermentar y debe facilitar la aireación de la pila y el resto de las actividades de control (Ninco & Sánchez, 2017).
2. Compostaje en silos: este tipo de compostaje se emplea en el tratamiento de pocas cantidades, los silos son recipientes alargados, de forma redonda o cuadrada, de 2 o 3 metros de altura y con aberturas a los lados (para la aireación) (Luna, 2017). Los silos tienen un diseño que permiten cargar la materia prima por la parte superior y descargar el compost por la parte inferior (Mullo, 2012).
 3. Compostaje en superficie: este tipo de proceso consiste en colocar una fina capa de mezcla homogénea de estiércol y residuos vegetales, sobre el terreno. Esta capa de materia orgánica se va descomponiendo paulatinamente hasta que se incorpora totalmente en el suelo y los nutrientes son absorbidos durante el ciclo de producción (Monsalvec et al., 2017).

El producto resultante del compostaje es un abono orgánico conocido como compost o enmienda orgánica que representa un excelente sustituto a los fertilizantes químicos (Berrios, 2015). El objetivo de incorporar una enmienda orgánica al suelo es de mejorar sus condiciones físicas y químicas como: pH, porosidad, densidad aparente, capacidad de intercambio catiónico y capacidad de retención de agua (Mullo, 2012).

- Porosidad del suelo: indica la proporción del suelo que no es ocupado por materia sólida o a los espacios huecos entre las partículas sólidas que conforman el suelo. La porosidad del suelo está conformada por macro y microporos por donde circulan los gases y se retienen los nutrientes y agua. Los macroporos permiten el drenado del agua, crecimiento de raíces y aireación del suelo, mientras que los microporos permiten la retención del agua y nutrientes (Calle, 2017).
- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC): es una propiedad que permite la medición del grado de humificación, el compost actúa como un “intercambiador” que permite retener y liberar los cationes (nutrientes) en función de los requerimientos del suelo (M. Estrada, 2005). La CIC de un suelo está en una relación directamente proporcional al pH y es mayor

cuando el pH está alrededor de 6,6. Por otro lado la correspondencia de la CIC con la relación C/N es inversamente proporcional, por lo tanto, la CIC aumenta y la relación C/N disminuye a medida que avanza el proceso (Hang, 2014).

- Capacidad de Retención de Agua (CRA): es la propiedad del suelo que indica la capacidad de conservación de humedad y la tasa de infiltración del agua (Cuasquer, 2013).

En la Tabla 2.9 se presentan los parámetros agronómicos del compost.

Tabla 2.9 Valores medio de los parámetros agronómicos del compost de gallinaza

Parámetros	Valor
Humedad	35 - 40 %
pH	7 - 8,5
Materia Orgánica	35 - 45 %
Conductividad	700 - 4.000 ds/m
CIC	170 mEq/100 g muestra
CRA	1.5 ml/g muestra
Nitrógeno (N)	0.5 - 2.6 %
Fósforo (P ₂ O ₅)	0.3 - 2.1 %
Potasio (K ₂ O)	0.4 - 1.2 %
Calcio (CaO)	5.0 - 16.0 %
Magnesio (MgO)	0.7 - 2.1 %
Fracción de liposolubles	< 1.0 %
Microorganismos	Ausencia de patógenos

Fuente: Calle, (2017), Estrada, (2005) y (Roman et al., 2013)

Elaborado por: Jorge Enríquez

2.4 ESCARABAJO DEL ESTIÉRCOL (*Alphitobius diaperinus*)

En la actualidad existen diferentes alternativas que permiten obtener un abono de cualidades mejoradas como es el uso de microorganismos eficaces, que bien manejados resultan ser una ventaja al disminuir el tiempo de compostaje y estabilización de la gallinaza. Los microorganismos eficaces que participan en la fermentación aerobia de la materia orgánica deben ser compatibles entre sí para que puedan convivir dentro de la pila de deyecciones (Uribe et al., 2001).

Uno de los organismos estudiados por M. Rodríguez (2018) como degradador de la gallinaza de jaula es el insecto *Alphitobius diaperinus* conocido comúnmente como escarabajo del estiércol, escarabajo de la cama, gusano menor de la harina, cucarrón negro, etc. Su clasificación taxonómica es la siguiente (Chamalé, 2013).

Reino:	Animalia
Filo:	Arthropoda
Clase:	Insecta
Orden:	Coleoptera
Familia:	Tenebrionidae
Género:	Alphitobius
Especie:	A. diaperinus

Alphitobius diaperinus (en cualquiera de sus fases) se desarrolla en el excremento producido por las aves, donde pueden llegar a colonizar en grandes cantidades. Estos insectos son saprófagos es decir se alimentan del excremento (M. Rodríguez, 2018).

La presencia del escarabajo *Alphitobius diaperinus* en los recintos avícolas es considerada como una plaga representativa dentro de la explotación, que ocasiona daños severos y afecta a la calidad de vida de las aves, poniendo en riesgo los protocolos de bioseguridad y generando pérdidas económicas representativas (Santo, 2011).

Según la información recopilada por Cecco et al. (2005), la acción nociva de *Alphitobius diaperinus* puede clasificarse en cuatro aspectos:

1. Acción sobre las instalaciones. Las larvas buscan sitios para empupar perforando los materiales de aislamiento.
2. Efecto traumático sobre las aves. *Alphitobius diaperinus* ejerce acción mecánica sobre las aves por efecto directo sobre éstas provocando lesiones y estrés por irritación.
3. Como vector de agentes patógenos. El insecto es transmisor de diversos virus (Marek, Gumboro, Newcastle y Leucosis); bacterias (salmonelas, campilobacter) y parásitos. La ingestión de larvas sería una de las formas en que se produciría el contagio.
4. Efecto sobre el personal de las granjas. Se han detectado en el personal de las granjas donde *Alphitobius* está presente problemas alérgicos, con incremento en los valores sanguíneos de la Inmunoglobulina E (IgE).

La presencia del escarabajo en las producciones, que manejan a las aves bajo la modalidad de camas, representa un riesgo potencial para su salud, porque los insectos infestan a las aves y también son vectores de posibles enfermedades (McAllister et al., 1996). Por otro lado, en las producciones avícolas en jaula el riesgo de daño es mucho menor porque las gallinas están separadas a una distancia prudente del contenedor del excremento, es decir no están en contacto directo con los escarabajos.

McAllister et al. (1996) en su estudio titulado “Reservoir Competence of *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) for *Escherichia coli* (Eubacteriales: Enterobacteriaceae)” indica que los escarabajos pueden infectar su tracto digestivo al consumir alimento contaminado con agentes patógenos, como *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli* y diferentes tipos de virus. Los ensayos en este estudio tienen como objetivo analizar la permanencia de *E. coli* en el organismo de los escarabajos (etapa larval y adulta) que han sido mantenidos con alimento inoculado con *Escherichia coli*. Los ensayos desarrollados son explicados a continuación:

Ensayo 1. Larvas y escarabajos adultos fueron sometidos a un periodo de ayuno de 24 h, posterior a ello fueron colocados en placas de Petri y alimentados con comida de pollos inoculada con *E. coli*. Luego se fueron retirando 3 escarabajos y larvas en conjunto con un circuito de inoculación de cada placa a los 1,3,5,6,7,8,10,11,13 y 14 días después de la exposición inicial a *E. Coli* (McAllister et al., 1996).

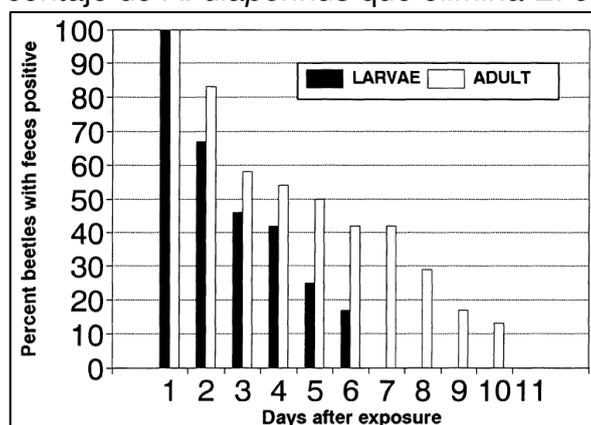
Se analizó persistencia de la bacteria *E. coli* en el cuerpo de los escarabajos adultos y larvales en los días citados anteriormente, obteniendo que el número de muestras positivas para *E. Coli* decrecía en función del tiempo y que en 14 días no se registraba ninguna bacteria en sus cuerpos, a pesar de que todas las muestras de alimento inoculado dieron positivo (McAllister et al., 1996).

Ensayo 2. Un grupo de 24 escarabajos adultos y otro grupo de larvas, de igual número, fueron alimentados durante 24 h con alimento inoculado con *E. coli*. Posteriormente fueron trasladados a recipientes que contenían alimento estéril y papel filtro húmedo en su base. Los escarabajos y larvas se retiraron diariamente

para ser colocados en vasos nuevos durante 15 días. Cada papel filtro que contenía las excretas del día anterior fue analizado en un tubo de ensayo que contenía agua desionizada estéril (McAllister et al., 1996).

Los resultados concluyeron que las excretas de las larvas presentan *E. coli* entre 1 y 6 días luego de consumir el alimento contaminado, sin embargo, en el cambio de estado larval a adulto la presencia de *E. coli* desaparece (es decir no hubo transmisión transestadial de *E. coli*). Para el caso de los escarabajos adultos, la mitad del grupo expuesto eliminó *E. coli* en sus excretas hasta el día 5 y el resto del grupo eliminó excretas contaminadas hasta el día 10 (Figura 2.7).

Figura 2.7 Porcentaje de *A. diaperinus* que elimina *E. coli* en sus heces



Fuente: (McAllister et al., 1996)

El escarabajo del estiércol (*Alphitobius diaperinus*) ha sido estudiado como un organismo de degradación de la gallinaza de jaula, sin poner en riesgo la salud de las aves. Los escarabajos se concentran en grandes grupos dentro de la pila de la gallinaza, su naturaleza es noctámbula, sin embargo, pueden permanecer activos durante todo el día mientras las condiciones de temperatura, humedad y alimento suplan sus necesidades (Domínguez, 2012).

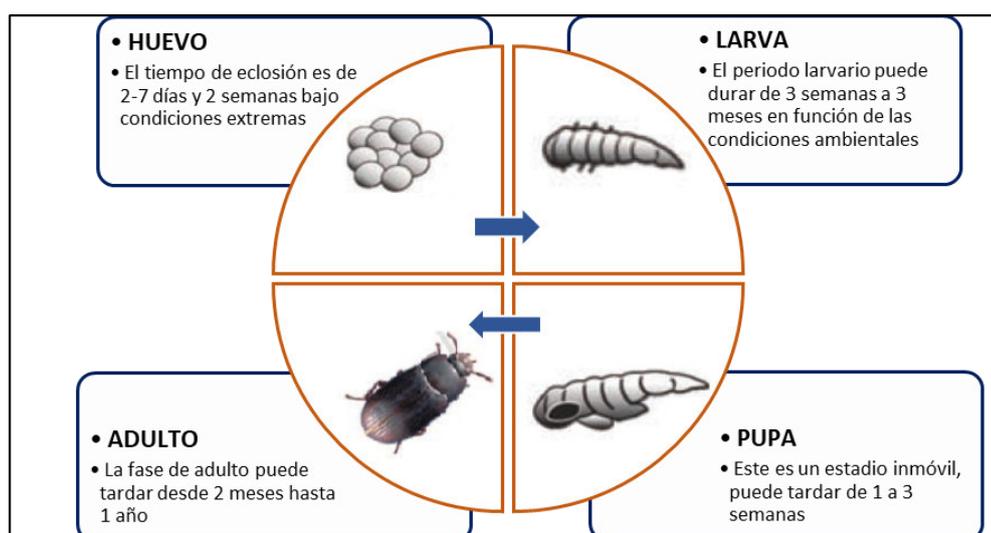
2.4.1 COMPORTAMIENTO

Alphitobius diaperinus se alimenta de gusanos, moho, animales muertos, también de las plumas, larvas y huevos de la misma especie (canibalismo) (Chamalé, 2013), y construyen galerías en la gallinaza que permite la aireación y desarrollo de bacterias saprófitas (M. Rodríguez, 2018).

Las hembras ovipositan en la gallinaza, utilizándola como cama de crianza, la hembra pone de 3-5 huevos al día, como máximo 3.000 huevos durante toda su vida. De los huevos nacen las larvas que pasan por 8 estadios hasta alcanzar su etapa de pupa, luego de ello las pupas presentan diferentes cambios morfológicos hasta convertirse en adultos (Cecco et al., 2005).

La Figura 2.8 presenta un esquema del tiempo de duración de las diferentes etapas del ciclo biológico de *Alphitobius diaperinus*.

Figura 2.8 Ciclo de vida de *Alphitobius diaperinus*



Fuente: Eguizalba, (2017)

Elaborado por: Jorge Enríquez

De manera general, el crecimiento y desarrollo del escarabajo del estiércol es beneficiado con condiciones ambientales de 30 a 33 °C y una humedad relativa aproximada de 90% (Dunfor & Kaufman, 2015). Cuando la humedad relativa es inferior a 70% requiere de agua para sobrevivir (Chamalé, 2013).

En el caso de encontrarse en granos, les favorece una humedad de 15%, mientras que en humedades menores al 9%, no existe desarrollo de larvas. Bajo este microclima el período previo a la oviposición es cercano a 12 días y después del cual la hembra producirá huevos durante 13-14 meses. A 32 °C completa su ciclo de desarrollo en 46 días, extendiéndose hasta 997 días cuando la temperatura del medio es de 16 °C y sin ovopositar a 10 °C (Vergara & Gazani, 1996).

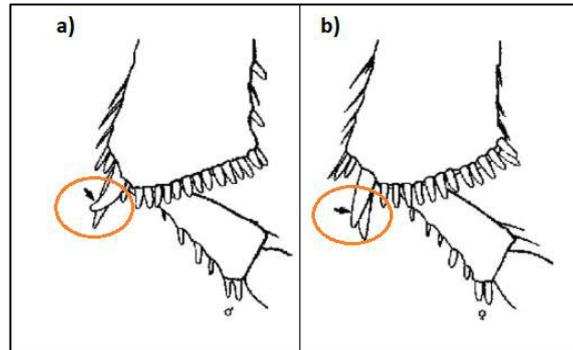
Su capacidad de oviposición junto con el prolongado tiempo de vida permiten concluir que el potencial biótico de *Alphitobius diaperinus* es alto (Cecco et al., 2005)

2.4.2 MORFOLOGÍA

1. Huevo: es de forma oval-alargado, de color blanco translúcido con un corión liso sin ornamentaciones y 1.0 mm de largo. Los huevos son ovipositados en las ranuras del substrato, generalmente en grupos de 6 a 36 (Vergara & Gazani, 1996).
2. Larva: recién emergida es de color blanco transparente, de cuerpo alargado y cilíndrico con la cápsula cefálica marrón muy claro, manteniéndose agrupada y oculta en el sustrato. Después de cada muda se observa el incremento tanto en longitud del cuerpo como en la cápsula cefálica. (Vergara & Gazani, 1996).
3. Pupa: en esta fase tienen una morfología tipo exarata color blanco, en promedio los machos miden 7.0 mm de largo y 3.1 mm de ancho y las hembras 7.7 mm de longitud y 3,4 mm de ancho. Se presenta una esclerotización en la parte terminal del abdomen, la hembra pupa presenta ventralmente un par de papilas desarrolladas(Vergara & Gazani, 1996).
4. Adulto: cuando emergen son de color crema, posteriormente se tornan color rojizo y luego de dos días su color es negro con un brillo muy reluciente. El tamaño promedio del macho es 5.8 mm de largo en un rango de 5.3-6.6 mm y el tamaño promedio de la hembra es 7.3 mm de largo en un rango de 6.5-8.0 mm (Vergara & Gazani, 1996). El color puede ser variable (negro o de color negro parduzco) dependiendo de la edad o “cepa” del escarabajo (Dunfor & Kaufman, 2015).

Dunfor & Kaufman (2015) señala que Yves Bousquet en su libro “*Beetles - An identification guide*” publicado en 1990 indica que una característica física para la diferenciación entre macho y hembra de *A. diaperinus* es la estructura en el ápice de la tibia mediana en el lado ventral del insecto (Figura 2.9).

Figura 2.9 Diferencias fisiológicas de *Alphitobius diaperinus* entre a) macho y b) hembra



Fuente: Dunfor & Kaufman, (2015)

La Figura 2.10 indica una fotografía de un espécimen de *A. diaperinus* en estado adulto, tomado de una colonia del Laboratorio de la Universidad de Florida.

Figura 2.10 Aspecto físico del estado adulto de *Alphitobius diaperinus*



Fuente: Dunfor & Kaufman, (2015)

2.4.3 EXCRETAS

Debido a que el escarabajo del estiércol (*Alphitobius diaperinus*) es considerado una plaga de granjas avícolas, especialmente para las que realizan producción en piso, existe poca información de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas que contienen sus excretas.

Pero para entender el potencial que tiene el escarabajo del estiércol como ayudante en la estabilización de la materia orgánica, podemos hacer referencia a un escarabajo mucho más estudiado que pertenece a la misma familia, como es el *Tenebrio molitor*.

Este insecto es conocido como escarabajo molinero o gusano de la harina, es de color castaño negruzco, con un tamaño de entre 12 y 17 mm de longitud y 4 mm de ancho. Se alimenta principalmente de harina u otros productos de origen cereal como pastas, salvado o galletas, aunque también es capaz de consumir papel, cartón, maderas blandas, carne seca, cueros y cortezas de árboles viejos, pudiendo constituir una importante plaga en almacenes (Poveda, 2018).

En cuanto a sus excretas se ha comprobado que representan una excelente fuente de abono orgánico, cuya composición dependerá de su alimentación. Diferentes análisis químicos de sus macronutrientes principales han arrojado niveles mucho más altos y equilibrados que otros abonos orgánicos utilizados comúnmente, como son el compost vegetal, el estiércol vacuno, porcino, gallinaza o el humus de lombriz (Ver Tabla 2.10), todos ellos con una alta humedad, de hasta el 80%, que representa un problema, porque dificulta su estabilidad y también su almacenamiento (Poveda, 2018).

Tabla 2.10 Composición de macronutrientes principales de abonos orgánicos

Descripción	Nitrógeno total	Fósforo (P ₂ O ₅)	Potasio (K ₂ O)
Excreta de escarabajo molinero	3.5	1.5	1.5
Compost vegetal	1.5	0.8	1
Estiércol vacuno	0.6	0.4	1
Estiércol porcino	0.7	0.3	1.6
Gallinaza	1.4	1.6	1.9

Fuente: Poveda, (2018)

Elaborado por: Jorge Enríquez

Por otro lado, M. Rodríguez (2018) realizó un modelamiento de los ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y huminas de dos tratamientos de gallinaza de jaula. El primero sin inóculo del escarabajo *Alphitobius diaperinus* y el segundo con un inóculo de escarabajos adultos, durante un periodo de 90 días y 45 días en pre-descomposición. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2.11.

Tabla 2.11 Análisis químico de tratamientos de gallinaza de jaula

Descripción	% Ácidos fúlvicos	% Ácidos húmicos	% Huminas
Gallinaza sin <i>Alphitobius diaperinus</i>	45.24	31.31	23.45
Gallinaza tratada con <i>Alphitobius diaperinus</i>	44.87	47.65	7.48

Fuente: M. Rodríguez, (2018)

Elaborado por: Jorge Enríquez

En general las sustancias húmicas facilitan la absorción de nutrimentos por las plantas al aumentar la capacidad de intercambio catiónico del suelo, mientras que los ácidos húmicos son cadenas más poli condensadas que los ácidos fúlvicos y se encuentran más ligadas a la fracción mineral del suelo (M. Rodríguez, 2018).

Los resultados de la Tabla 2.11 evidencian la actividad que ejerce el escarabajo sobre la gallinaza, permitiendo una mayor salida de nutrimentos en el suelo por tener menor estabilidad química, una fácil descomposición, una mayor actividad biológica y la formación de agregados en el suelo (M. Rodríguez, 2018).

2.5 ENMIENDAS Y FERTILIZANTES ORGÁNICOS

Los términos: abono, compost, enmienda, fertilizante, etc., son ampliamente conocidos dentro de las explotaciones agrícolas por sus propiedades, que permiten mejorar las condiciones del suelo, proveer nutrientes y suplir las necesidades de las plantas, evitar el desgaste del suelo y acondicionarlo para futuras siembras (Carhuancho, 2012).

Las enmiendas y fertilizantes se diferencian en dos grupos en función de su origen: orgánicas o inorgánicas (mineral). Las correspondientes definiciones son indicadas a continuación.

1. **Enmienda:** una enmienda es definida como un producto de origen orgánico o inorgánico que al aplicarlo al suelo tiene la capacidad de modificar sus condiciones físicas, químicas o biológicas (MAG & AGROCALIDAD, 2018), en particular el pH del suelo (INEN, 1998).

- 1.1. Enmienda orgánica: producto obtenido a través de materia prima carbonada de origen animal o vegetal, que es empleado para conservar o aumentar la cantidad de materia orgánica del suelo. Una enmienda orgánica mejora las condiciones físicas, la actividad química y biológica. Algunos ejemplos de enmienda orgánica son compost, vermicompost, humus, etc. (MAG & AGROCALIDAD, 2018).
- 1.2. Enmienda mineral: producto inorgánico obtenido por síntesis química de reactivos, que se fabrica a escala industrial (INEN, 1998). La enmienda inorgánica contiene primariamente calcio (Ca) y/o magnesio (Mg), en sus formas de carbonatos, óxidos o hidróxidos, que permiten la corrección del pH del suelo (MAG & AGROCALIDAD, 2018).
2. Fertilizante: es un producto conformado por una sustancia o por la mezcla de sustancias de origen orgánico e inorgánico, que contiene uno o más de los nutrientes esenciales en forma asimilable que demandan las plantas para su nutrición. Los fertilizantes pueden ser aplicados al suelo o al área foliar (MAG & AGROCALIDAD, 2018).
 - 2.1. Fertilizante orgánico: es el producto obtenido por la descomposición de materia orgánica, de origen animal, vegetal o mixto (INEN, 1998), que contiene los elementos esenciales para las plantas y que van siendo liberados según son degradados por la microbiota del suelo (MAG & AGROCALIDAD, 2018).
 - 2.2. Fertilizante mineral: es el producto conformado por una o más sustancias de origen inorgánico, obtenido por síntesis química que se produce a escala industrial (INEN, 1998). Tiene como función el aporte de nutrientes esenciales a las plantas y que puede ser aplicado al suelo o al área foliar (MAG & AGROCALIDAD, 2018).
 - 2.3. Fertilizante orgánico-mineral: es un fertilizante mixto, obtenido por la combinación química de sustancias de origen mineral y orgánico, que permite el aporte de nutrientes esenciales a las plantas (MAG & AGROCALIDAD, 2018).

En las Tablas 2.12 y 2.13 se indican los requisitos específicos de enmiendas y algunas propiedades físicas y químicas de enmiendas presentados en el Manual

Técnico para el Registro Y Control de Fertilizantes, Enmiendas del Suelo y Productos Afines de Uso Agrícola-2018.

Tabla 2.12 Propiedades físicas y químicas declaradas para enmiendas

Propiedad	Descripción
1. Estado físico	Describir el estado del producto.
2. Densidad o peso específico	Expresar en g/ml a una determinada temperatura en °C, según el estado físico del producto
3. pH	Indica para sólidos solubles y líquidos
4. Humedad para productos sólidos orgánicos	Debe estar expresada en porcentaje % y no debe ser mayor al 40%

Fuente: (MAG & AGROCALIDAD, 2018)

Tabla 2.13 Requisitos específicos de enmiendas orgánicas

Requisito	Descripción
1. Componentes	Declarar como parte de su riqueza en la etiqueta si la concentración garantizada del elemento es igual al % mínimo (Tabla 2.14)
2. Materia orgánica total	Declarar la materia orgánica expresada en porcentaje (%). Debe ser igual o mayor al 25% para considerarse como enmienda orgánica.
3. Sustancias húmicas	Declarar la identificación y contenido expresado en % peso/peso.
4. Certificado de análisis de microorganismos patógenos	Indicar la ausencia de microorganismos patógenos <i>E. coli</i> , <i>Salmonella</i> sp., Fito patógenos y <1000 NMP/g (número más probable) o UFC/g o ml del producto para coliformes.
5. Relación Carbono-Nitrógeno	Indicar la relación Carbono Nitrógeno (C/N).
6. Carbono orgánico	Indicar el % de Carbono.
7. Conductividad eléctrica	Expresar en dS/m o μ S/cm y determinada a 20 o a 25 °C.

Fuente: (MAG & AGROCALIDAD, 2018)

En la Tabla 2.14 se presentan los valores mínimos declarables para productos que contengan macronutrientes en su composición.

Tabla 2.14 Valores mínimos declarables de productos con macronutrientes primarios y secundarios

Nutriente	Valor [%]
Nitrógeno total	3
Fósforo (P ₂ O ₅)	3
Potasio (K ₂ O)	3
Calcio	1
Magnesio	1
Azufre	1
Sodio (Na ₂ O)	2

Fuente: (MAG & AGROCALIDAD, 2018)

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

3.1.1 BIORREACTORES

Siguiendo las recomendaciones de Arellano & Velásquez (2007), para la fase experimental de la presente investigación se utilizaron recipientes plásticos comerciales de 35x37x30 cm³ de capacidad, como biorreactores para llevar a cabo la estabilización de la gallinaza de jaula, mediada por el escarabajo molinero, para determinar el tiempo en alcanzar un acondicionador de suelos, que cumpla la normativa vigente aplicable.

En el interior del recipiente se colocaron cantidades similares de gallinaza y diferente número de individuos detritívoros. Sobre la parte superior de cada bioreactor se colocó una tela de mosquitero, para evitar tanto el ingreso de insectos y roedores que podrían contaminar, como para evitar la fuga de los insectos, y también para mantener la humedad en el sustrato, según la recomendación de Arellano & Velásquez, (2007); esta tela se sujetó con pinzas plásticas para permitir su fácil apertura y cierre durante los monitoreos.

3.1.2 TRATAMIENTOS

Se ensayaron 3 tratamientos y un grupo de control, con dos réplicas por grupo de cada uno. Similar a los utilizados por Llumiquinga & Parra (2018), quienes utilizaron como sustrato lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Para la elección de la cantidad de escarabajos por tratamiento se utilizó como base la proporción utilizada por Sarmiento (2018), 50 g de escarabajos por 1 kg de sustrato, para la reproducción del escarabajo molinero.

La masa promedio de un escarabajo adulto se determinó en el Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental, LDIA, y fue de 14.4 miligramos.

Los datos numéricos para los tratamientos experimentales se describen en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Proporción de escarabajos del estiércol usada en cada tratamiento

Tratamiento	Proporción Escarabajos (g)/Gallinaza fresca (kg)	Gallinaza fresca total (kg)	Masa de escarabajos (g)	Población de escarabajos estimada
CONTROL (T1)	-	7	-	-
T2	12.5/1	7	87.5	6076
T3	25/1	7	175	12153
T4	50/1	7	350	24306

Elaborado por: Jorge Enríquez

3.1.3 PREPARACIÓN DEL ÁREA EXPERIMENTAL

La implementación de los biorreactores se realizó en el Laboratorio Docente de Hidráulica, Escuela Politécnica Nacional (Quito, Ecuador).

Se delimitó un área de 3 x 1.3 m², a 0,5 m de una ventana, para que exista ventilación y se colocó un plástico negro en las ventanas existentes, para impedir que la luz del sol ingrese directamente y pueda influir en los biorreactores.

Adicionalmente, se colocó un termómetro-higrómetro digital para registrar valores diarios de temperatura ambiente y humedad relativa, las características se detallan en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Termómetro higrómetro digital utilizado

Marca	ISOLAB
Rango de medición	10 a 99 % para humedad relativa y de - 50 °C a +70 °C para temperatura
Precisión	±5 para humedad relativa y ± 1 °C para temperatura
Resolución	1% para humedad relativa y 0.1°C para temperatura

Elaborado por: Jorge Enríquez

3.2 OBTENCIÓN DE LA GALLINAZA DE JAULA

La gallinaza de jaula fue obtenida de la granja avícola AVISAN, ubicada en la provincia de Cotopaxi, cantón Salcedo, parroquia Cusubamba.

La campaña de muestreo se realizó el 17 de noviembre de 2019, en un galpón que contaba con aproximadamente 24 000 gallinas ponedoras de 62 semanas de edad, de la raza Lohmann Brown. El galpón se encuentra automatizado en su totalidad y cuenta con un sistema de bandas recolectoras de residuos (gallinaza de jaula fresca), que se ubican bajo de las jaulas, que los transporta fuera del galpón para que sea recogido por vehículos de carga. La Figura 3.1 presenta la banda transportadora, de donde se recogió los residuos con la ayuda de una pala.

Figura 3.1 Recolección de Gallinaza



Tomado por: Jorge Enríquez

Se tomó las muestras al final de esta banda transportadora y se recolectó aproximadamente 4 fundas de 25 kg, mismas que fueron trasladadas al laboratorio para su homogenización (Ver Figura 3.2).

Figura 3.2 Homogenización de muestras



Tomado por: Jorge Enríquez

Una vez homogenizado el contenido de las 4 fundas, se procedió a realizar el cuarteo para la toma de muestras, para la caracterización inicial del sustrato por sus parámetros físicos, químicos y microbiológicos. La Tabla 3.3 detalla las características y destinos de las muestras tomadas.

Tabla 3.3 Campaña de muestreo de la gallinaza de jaula

MUESTRA	CANTIDAD (g)	ESPECIFICACIONES	LABORATORIO DE DESTINO
G1	200	- Muestras preservadas en hielo. - Determinación de pH, humedad, sólidos volátiles, materia orgánica, coliformes totales y fecales.	Laboratorio Docente de Ingeniería Ambiental (LDIA)
G5	200		
G6	200		
G2	500	- Muestras preservadas en hielo. - Determinación de macronutrientes principales; nitrógeno total, fósforo (P ₂ O ₅) y potasio (K ₂ O).	Laboratorio de Servicio de Análisis e Investigación en Alimentos
G3	500		
G4	500		
G7	3405	Densidad aparente	In situ
G8	5625		
G9	7080		

Elaborado por: Jorge Enríquez

3.2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA GALLINAZA DE JAULA

Para la caracterización de la gallinaza de jaula se escogió parámetros para identificar la percepción que genera a los sentidos de una persona receptora. La relación sólidos volátiles sobre sólidos totales (SV/ST) permitió establecer el grado de estabilización en el que se encuentra la materia orgánica, parámetro importante para validar el tiempo que requiere la estabilización del residuo.

La determinación de los macronutrientes principales (nitrógeno total, P₂O₅, K₂O) es importante para conocer la disponibilidad de alimento que tuvieron los escarabajos a utilizar y los microorganismos presentes en el residuo.

Finalmente, la determinación de coliformes totales y fecales sirvió como un indicador de los posibles patógenos que pueda contener el residuo estudiado.

Los métodos usados para la caracterización de la gallinaza de jaula, de cada uno

de los parámetros, se detallan en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Métodos de Caracterización de la gallinaza de jaula

PARÁMETRO	MÉTODO ANALÍTICO	
	PRINCIPIO	REFERENCIA
Apariencia	Organoléptico	Observación directa (Llumiquinga & Parra, 2018)
Color	Organoléptico	Observación directa (Llumiquinga & Parra, 2018)
Olor	Organoléptico	Tabla de intensidad y tono hedónico (Basto Gómez, 2016)
Densidad aparente	Relación peso/volumen	Determinación de densidad de volumen (Paneque, Victor; Calaña, Juan; Calderon, 2010)
pH	Potenciométrico	Método 4.1 para lodos (Zagal & Sadzawka, 2007)
Humedad	Gravimétrico	Método 2.1 para lodos (Zagal & Sadzawka, 2007)
Sólidos totales	Gravimétrico	Método 2.1 para lodos (Zagal & Sadzawka, 2007)
Sólidos volátiles	Calcinación	Método 3.1 para lodos (Zagal & Sadzawka, 2007)
SV/ST	División	(Llumiquinga & Parra, 2018)
Materia orgánica	Calcinación	Método 6.1 (Zagal & Sadzawka, 2007)
Nitrógeno total	-	Método MO-LSAIA-01.04 (Laboratorio de Servicio de Análisis e Investigación en Alimentos)
Fósforo (P ₂ O ₅)	-	Método MO-LSAIA-3.01.04 (Laboratorio de Servicio de Análisis e Investigación en Alimentos)

(Continuación Tabla 3.4)

Potasio (K ₂ O)	-	Método MO-LSAIA-3.01.05 (Laboratorio de Servicio de Análisis e Investigación en Alimentos)
Coliformes totales	NMP (Número más probable)	**Conventional Method for Enumerating Total Coliforms, Fecal Coliforms and E. Coli (Andrews, 1997)
Coliformes fecales	NMP (Número más probable)	**Conventional Method for Enumerating Total Coliforms, Fecal Coliforms and E. Coli (Andrews, 1997)

Nota: **Se reemplazó la solución amortiguadora de fosfatos por agua peptonada al 0.1% y se reemplazó el caldo lauril sulfato de sodio por caldo lactosado, siguiendo las recomendaciones de Camacho et al. (2009).

Elaborado por: Jorge Enríquez

3.3 OBTENCIÓN DEL ESCARABAJO DEL ESTIÉRCOL (*Alphitobius diaperinus*)

Los escarabajos fueron recolectados de la granja avícola AVIGAR, ubicada en la provincia de Tungurahua, cantón San Pedro de Pelileo, parroquia Cotaló.

Los escarabajos se encontraban en el canal de recolección de la gallinaza de jaula, razón por la cual se procedió a identificar zonas de aglomeración de escarabajos adultos. Posteriormente, se utilizó una pala de jardín y una brocha para su recolección, pero al estar adheridos a fracciones de gallinaza, se utilizó un tamiz casero de abertura aproximada de 15 mm para separar los grumos de mayor diámetro y que los escarabajos y grumos pequeños cayeran en un balde plástico.

A continuación, se procedió a tapar los baldes con tela de mosquitero, para evitar que salgan del recipiente y ser trasladados a la ciudad de Quito.

3.3.1 TÉCNICA DE SEPARACIÓN DE ESCARABAJOS ADULTOS (*Alphitobius diaperinus*)

Se retiró la malla de los baldes y se procedió a inclinarlos aproximadamente 30 grados y seguidamente se los colocó en fundas plásticas.

Los escarabajos tienden a escapar del recipiente, por lo que caminan hacia la luz cayendo en la funda o recipiente plástico que se encontraba abajo, y debido a la inclinación del balde los escarabajos no arrastran los grumos pequeños de gallinaza con los que fueron recolectados. La Figura 3.2 muestra la técnica de separación de escarabajos de restos de gallinaza.

Figura 3.3 Separación de escarabajos de grumos de gallinaza



Tomado por: Jorge Enríquez

Con esta técnica, se recolecta escarabajos adultos, larvas y escarabajos de otra especie de 2 mm de largo. Por lo que el siguiente paso fue separar manualmente las larvas identificadas y usar un tamiz de 3 mm de abertura, para que solo quedaran escarabajos adultos de un tamaño aproximado de 5 mm.

3.4 INICIO DE BIOPROCESO

Se utilizó una balanza con precisión de 5 g, para llenar cada recipiente con 7 kg de gallinaza fresca homogenizada, y una balanza con resolución de 0.0001 g, para llenar los recipientes con el número de escarabajos indicado en la Tabla 3.1.

El bioproceso dio inicio el 19 de noviembre de 2019 en el Laboratorio Docente de Hidráulica, con los arreglos descritos en el numeral 3.1.3. Adicionalmente, para evitar pérdidas de calor de los biorreactores, por contacto con el piso, se colocó

cubetas de cartón en su base para que sirva de aislante térmico. El resultado del diseño se puede ver en la Figura 3.3.

Figura 3.4 Ubicación de los biorreactores en el área seleccionada



Tomado por: Jorge Enríquez

3.5 MONITOREO DIARIO

3.5.1 TEMPERATURA AMBIENTE Y HUMEDAD RELATIVA

Se utilizó el instrumento descrito en la Tabla 3.2 y que se observa en la Figura 3.5. Se registró 4 valores de temperatura; La temperatura mínima, la temperatura en la mañana (08:00), la temperatura en la tarde (17:00) y la temperatura máxima. Con estos datos se estimó la temperatura promedio diaria.

La humedad relativa se registró a las mismas horas que la temperatura ambiente y de igual manera, sus valores máximos y mínimos. Con estos datos se estimó la humedad relativa promedio diaria.

Figura 3.5 Termómetro higrómetro digital utilizado



Tomado por: Jorge Enríquez

3.5.2 TEMPERATURA BIORREACTORES

En cada biorreactor se trazó líneas imaginarias obteniendo 6 cuadrantes, se registró la temperatura del centro de cada cuadrante, a una profundidad promedio de 3.5 cm, mediante la utilización de un termómetro digital, sus características se detallan en la Tabla 3.5 y su aspecto en la Figura 3.6.

Tabla 3.5 Termómetro digital utilizado

Modelo	TP 101
Rango de medición	- 50°C a +300 °C
Precisión	± 1 °C
Resolución	0.1°C

Elaborado por: Jorge Enríquez

Figura 3.6 Termómetro digital utilizado



Tomado por: Jorge Enríquez

Los primeros 3 días se realizó 3 mediciones al día (8 am, 1 pm y 5 pm) en el cual se determinó una desviación estándar aproximada de 0.3, siendo este un valor bajo, que indica que la mayor parte de los valores obtenidos tienden a estar agrupados cerca de su media y que son homogéneos. Considerando además que no se disponía de un instrumento que pueda determinar temperaturas máximas y mínimas en el biorreactor durante el transcurso del día y debido a que el tiempo de medición requerido para medir todas las muestras era aproximadamente 108 minutos, se optó por realizar una sola medición al día, en la mañana (8 am)

También se optó por utilizar dos termómetros simultáneamente y cada medición duraba aproximadamente 9 minutos por biorreactor.

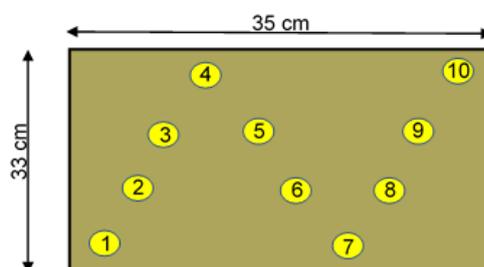
3.6 MONITOREO SEMANAL

Se realizó el monitoreo de cada biorreactor durante un periodo total de 14 semanas, los parámetros evaluados fueron humedad, pH y sólidos volátiles.

3.6.1 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

Se recolectó semanalmente en fundas ziploc, una muestra global de 40 g, conformada por aproximadamente 10 submuestras de 4 g. Se utilizó una cuchara y la técnica de Zig-Zag recomendada por AGROCALIDAD (2015) para muestreo de suelos. De esta muestra global, 20 g fueron destinados para pH y 20 g para humedad, de la cual posteriormente se realiza el ensayo de sólidos volátiles. La Figura 3.7 ilustra la técnica utilizada.

Figura 3.7 Puntos de muestreo de cada biorreactor



Elaborado por: Jorge Enríquez

3.6.2 pH

Para la medición de pH se realizó una dilución 1:5 en agua destilada, se usó un agitador magnético para homogenizar la solución, luego se dejó reposar 2 horas y se agitó nuevamente para introducir el electrodo del medidor de pH en la solución. Una vez estabilizada la lectura se registró el valor. Las características del equipo se detallan en la Tabla 3.6.

Tabla 3.6 Medidor de pH utilizado

Marca	OAKTON
Modelo	pH/CON 510
Rango de medición	2.00 a 16.00
Precisión	± 0.01
Resolución	0.01

Elaborado por: Jorge Enríquez

3.6.3 HUMEDAD Y SÓLIDOS TOTALES

Debido a la alta humedad de la muestra, se lo consideró como un lodo y se siguió el método 2.1 propuesto por Zagal & Sadzawka (2007), para determinar humedad y sólidos totales en lodos.

Se utilizó una balanza analítica de resolución 0.0001 g, para pesar aproximadamente 20 g de muestra en un crisol de porcelana de 50 ml y se colocó en un horno a 105° C durante 24 horas. A continuación se colocó en un desecador hasta alcanzar un peso estable a pesarlo nuevamente para determinar el porcentaje de humedad y sólidos totales con las siguientes ecuaciones (Zagal & Sadzawka, 2007):

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{a-b}{a-c} \times 100 \quad \text{(Ecuación 3.1)}$$

$$\text{Sólidos totales (\%)} = \frac{b-c}{a-c} \times 100 \quad \text{(Ecuación 3.2)}$$

Donde:

a = masa en g del lodo tal como se recibió + recipiente

b = masa en g del lodo seco a 105°C + recipiente

c = masa en g del recipiente

3.6.4 SÓLIDOS VOLÁTILES

Para el ensayo de sólidos volátiles se siguió el método 3.1, propuesto por Zagal & Sadzawka (2007) para lodos.

El método requiere que la muestra se haya secado previamente a 105 °C, por lo que se utilizó el mismo crisol que contenía la muestra resultante del ensayo de humedad. Todos los crisoles del ensayo anterior se colocaron en una mufla industrial y se subió lentamente la temperatura hasta alcanzar los 550 °C.

Las muestras se mantuvieron a esta temperatura por un tiempo de dos horas, luego se enfriaron en un desecador, hasta alcanzar un peso estable y posteriormente se registró el mismo. Se introdujo nuevamente durante 30 min en la mufla, hasta que el cambio de peso sea menor al 4% o 50 mg. Determinando que el tiempo requerido para lograr esto es de aproximadamente 3 horas.

Una vez registrados los pesos finales se calculó los sólidos volátiles mediante la

siguiente ecuación (Zagal & Sadzawka, 2007):

$$\text{Sólidos volátiles (\%)} = \frac{a-b}{m} \times 100 \quad \text{(Ecuación 3.3)}$$

Donde:

a = masa, en g, del residuo + recipiente, antes de la calcinación (Método 2.1, punto 3.4).

b = masa, en g, del residuo + recipiente, después de la calcinación.

m = masa, en g, de lodo tal como se recibió (Método 2.1, punto 3.1).

3.6.5 SÓLIDOS VOLÁTILES/SÓLIDOS TOTALES

El porcentaje de sólidos volátiles sobre sólidos totales (SV/ST) se calculó de la siguiente manera:

$$\text{SV/ST (\%)} = \frac{\text{Sólidos volátiles (\%)}}{\text{Sólidos totales (\%)}} \times 100 \quad \text{(Ecuación 3.4)}$$

3.7 CARACTERIZACIÓN FINAL

Una vez concluido el tiempo de observación de los tratamientos, se procedió a realizar los mismos análisis involucrados en la caracterización de la gallinaza de jaula, a excepción de los macronutrientes principales (nitrógeno total, P₂O₅, K₂O), materia orgánica y el ensayo de coliformes totales y fecales. Los cuáles fueron realizados únicamente en el tratamiento que presente mayor estabilidad. Para determinar su uso potencial también fue necesario calcular su porcentaje de carbono orgánico y su relación Carbono nitrógeno (C/N), lo cual se hizo de manera teórica en función de la Norma Mexicana nmx-aa-67-1985, donde se establece que el contenido de carbono orgánico es igual al 58% de la materia orgánica, obteniendo la siguiente la fórmula (Berrelleza, 2014).

$$\frac{C}{N} = \frac{\%MO}{\%N} \times 0.58 \quad \text{(Ecuación 3.5)}$$

Donde

%Mo = Porcentaje de materia orgánica

%N = Porcentaje de nitrógeno total

Adicionalmente se realizó la separación de escarabajos vivos mediante la técnica descrita en el numeral 3.3.1. Determinando el número de escarabajos muertos mediante la resta entre la cantidad inicial y la cantidad final. Luego se calculó el porcentaje de mortalidad mediante la fórmula descrita por Cabello (2006).

$$\text{Mortalidad (\%)} = \frac{N_0 - N_t}{N_0} \times 100 \quad \text{(Ecuación 3.6)}$$

Donde

N_0 = Población inicial

N_t = Población al tiempo t

3.8 ANÁLISIS

3.8.1 TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS

Debido a las dos réplicas de cada tratamiento, se recolectaron 3 datos de cada parámetro analizado, calculando el promedio de los tres y su desviación estándar, con el fin de tener un solo dato representativo para cada análisis. El criterio que se utilizó para validar el uso del promedio fue el coeficiente de variación.

El coeficiente de variación es una medida de dispersión que resulta del cociente entre la desviación estándar y el promedio. Lo cual permite calificar la confiabilidad de las variables que fueron analizadas durante el experimento (DANE, 2008). La Tabla 3.7 describe el nivel de confiabilidad de los datos recolectados en función del porcentaje del coeficiente de variación.

Tabla 3.7 Intervalos de confianza de acuerdo con el coeficiente de variación

Coeficiente de variación	Precisión
Hasta el 7%	Precisa
Entre 8% y 14 %	Precisión aceptable
Entre 15% y 20%	Precisión regular
Mayor del 20%	Poco precisa, utilizarla solo con fines descriptivos

Fuente: (DANE, 2008)

3.8.2 DETERMINACIÓN DEL TRATAMIENTO MÁS ESTABLE

Para determinar el tratamiento más estable se tomó en cuenta la intensidad de olor, presencia de material disgregado y el que presente la menor relación SV/ST.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE LA GALLINAZA DE JAULA

En la Tabla 4.1 se presentan los resultados de los ensayos realizados por los métodos descritos en la Tabla 3.4.

Tabla 4.1 Características de la gallinaza de jaula

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Apariencia	-	Pastosa
Color	-	Marrón oscuro
Olor	-	Muy fuerte, con molestias graves
Densidad aparente	kg/L	0.7
pH	-	8.5
Humedad	%	64.97
Sólidos totales	%	35.03
Sólidos volátiles	%	24.77
SV/ST	%	70.78
Materia orgánica	%	69.71
Nitrógeno total	%	*5.54
Fósforo (P ₂ O ₅)	%	*1.41
Potasio (K ₂ O)	%	*2.65
Coliformes totales	NMP/g	6.73 x 10 ⁵
Coliformes fecales	NMP/g	3.87 x 10 ⁵

Nota: * Valor reportado en base seca (Ver anexo 5)

Elaborado por: Jorge Enríquez

Al ver los resultados, se evidencia las características que describe Estrada (2005) sobre la gallinaza, un mal olor, alta humedad, un número alto de coliformes, que se interpreta como la existencia de agentes patógenos, un alto contenido de materia orgánica y nutrientes, que podrían causar la contaminación del suelo, agua y aire si se utilizará en este estado.

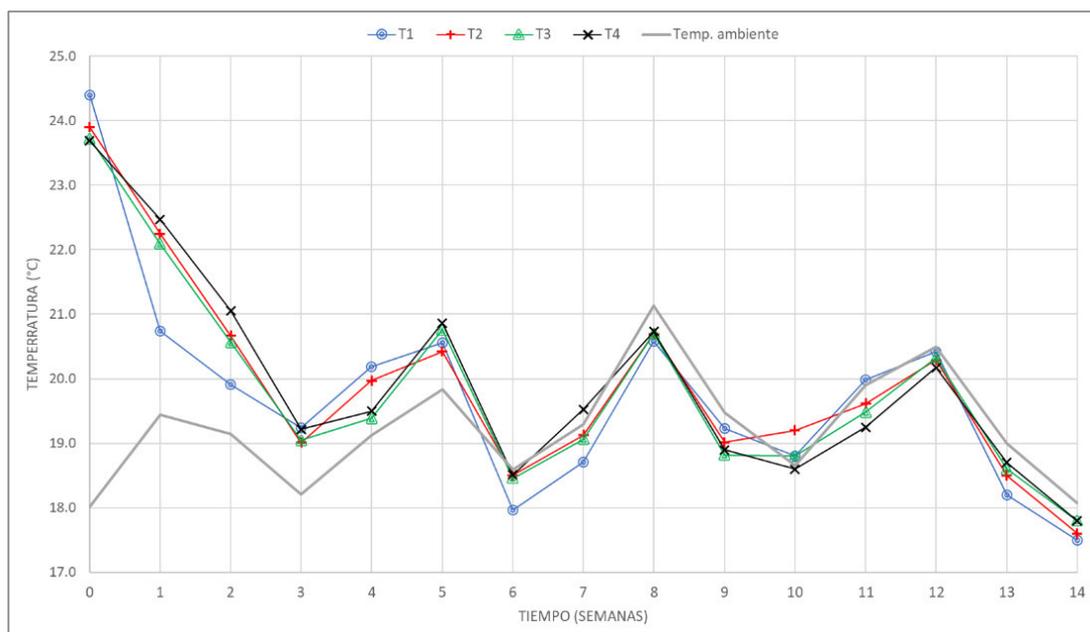
4.2 VARIACIÓN DE PARÁMETROS DIARIOS

Los valores recopilados diariamente se promediaron semanalmente para una mejor visualización. La semana en la que inició el bioproceso se denominó semana 0, y a partir de esta se empezó a contabilizar el resto de semanas hasta alcanzar la semana 14.

4.2.1 TEMPERATURA

La temperatura ambiente osciló en un rango de 18 a 21.1, mientras que la temperatura promedio semanal de los biorreactores osciló en un rango de 17.5 a 24.4 °C

Figura 4.1 Valores de temperatura durante el Bioproceso



Elaborado por: Jorge Enríquez

La temperatura de la gallinaza al momento de su muestreo en la granja alcanzaba un valor de 33 °C, lo cual demuestra la presencia de microorganismos aerobios que descomponen la materia orgánica, debido a que su desarrollo genera calor (Bueno

Márquez et al., 2008), aumentando la temperatura del sustrato en comparación a la temperatura ambiente (23 °C aproximadamente).

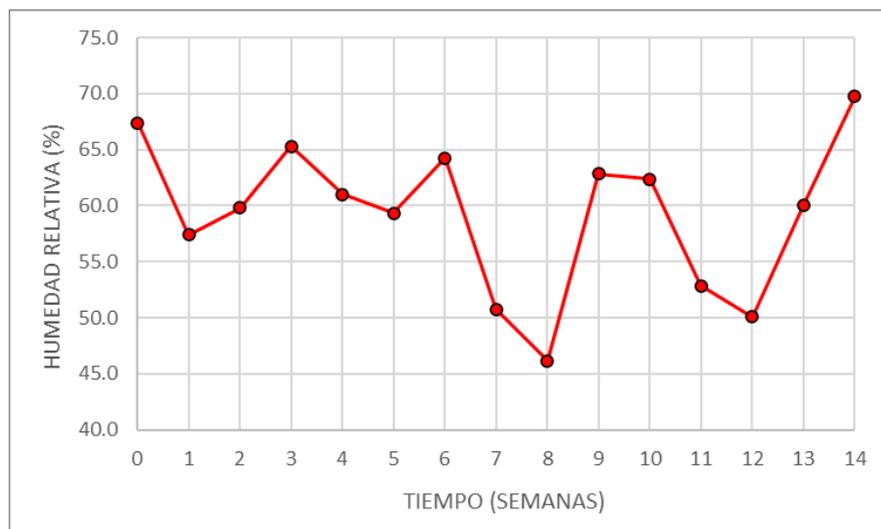
Al poner en marcha los biorreactores se partió de un valor de temperatura inicial de aproximadamente 31 °C, sin embargo, de la semana 0 a la 3 se puede observar que los tratamientos presentaron una tendencia decreciente en la temperatura, a pesar de que en este periodo todos los tratamientos conservaron una temperatura mayor a la temperatura ambiente. Esto demuestra que los microorganismos presentes en la gallinaza han ido muriendo a medida que disminuye la temperatura, lo cual se refleja en la relación SV/ST.

Después de la tercera semana la actividad de los microorganismos se ha reducido considerablemente, por lo cual no alcanzan a generar suficiente calor y los tratamientos presentan un comportamiento paralelo a la temperatura ambiente.

Por otra parte, Dunfor & Kaufman (2015) mencionan que la temperatura óptima para el desarrollo del escarabajo del estiércol es de 30 a 33 °C. Para el caso de los 3 tratamientos, la temperatura promedio de los biorreactores fue de 19.9°C durante el tiempo de observación (14 semanas), mismo en el que no se evidenció la presencia de larvas en los biorreactores, por lo que no existió reproducción durante el periodo de análisis. Es por este motivo que la temperatura se vuelve una variable importante para el desarrollo y reproducción del escarabajo, junto con la humedad como se explica en el inciso 4.3.2.

4.2.2 HUMEDAD RELATIVA

La humedad relativa osciló en un rango de 46.1 a 69.8%, por lo que según Chamalé (2013), al ser menor a 70 %, los escarabajos necesitan agua adicional para sobrevivir, tomándola en este caso de la gallinaza (Ver Figura 4.2).

Figura 4.2 Valores de humedad relativa durante el Bioproceso

Elaborado por: Jorge Enríquez

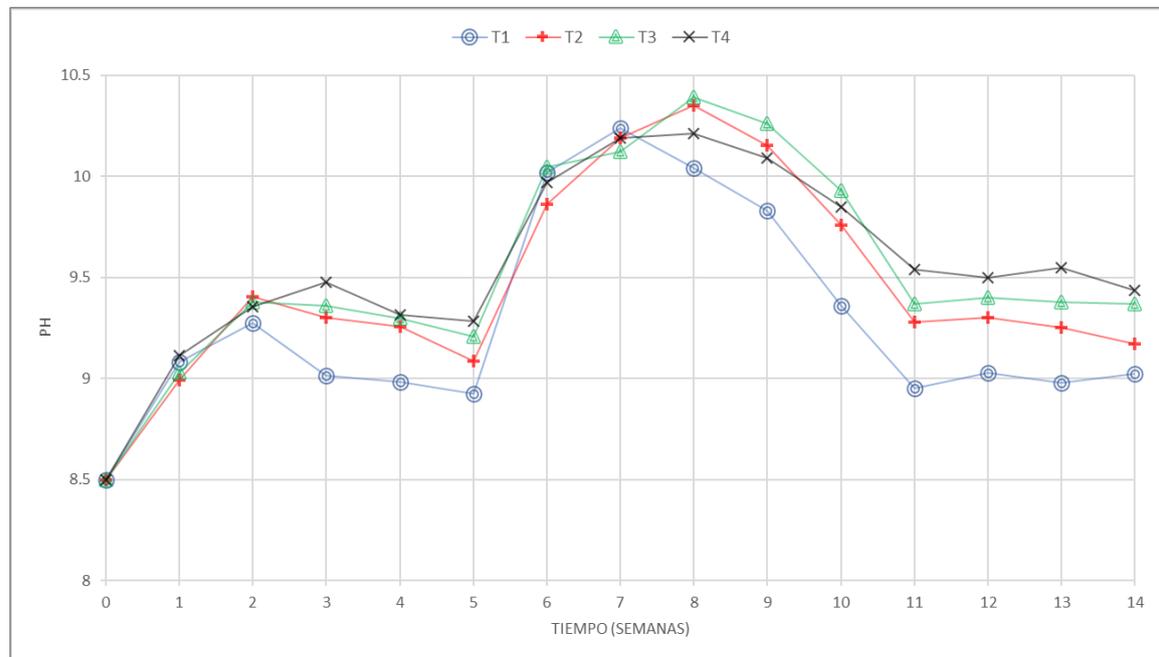
4.3 VARIACIÓN DE PARÁMETRO SEMANALES

La semana cero corresponde a los valores obtenidos en la caracterización de la gallinaza de jaula.

4.3.1 pH

El pH inicial fue 8.5, se observa una alcalinización entre la semana 6 a la 8 debido a la pérdida de los ácidos orgánicos y la generación de amoníaco procedente de la descomposición de las proteínas (Bueno Márquez et al., 2008), luego desciende y se observa una estabilización desde la semana 11 (Ver anexo 1). Adicionalmente se ve una influencia por parte de los escarabajos, puesto que mientras mayor concentración de escarabajos presenta el tratamiento el pH tiende a ser más alcalino (Ver Figura 4.3). De los datos de pH obtenidos a las 14 semanas (Ver Figura 4.3) se puede estimar el uso de este residuo como una enmienda orgánica para suelos con un pH ácido (Bougnom et al., 2010).

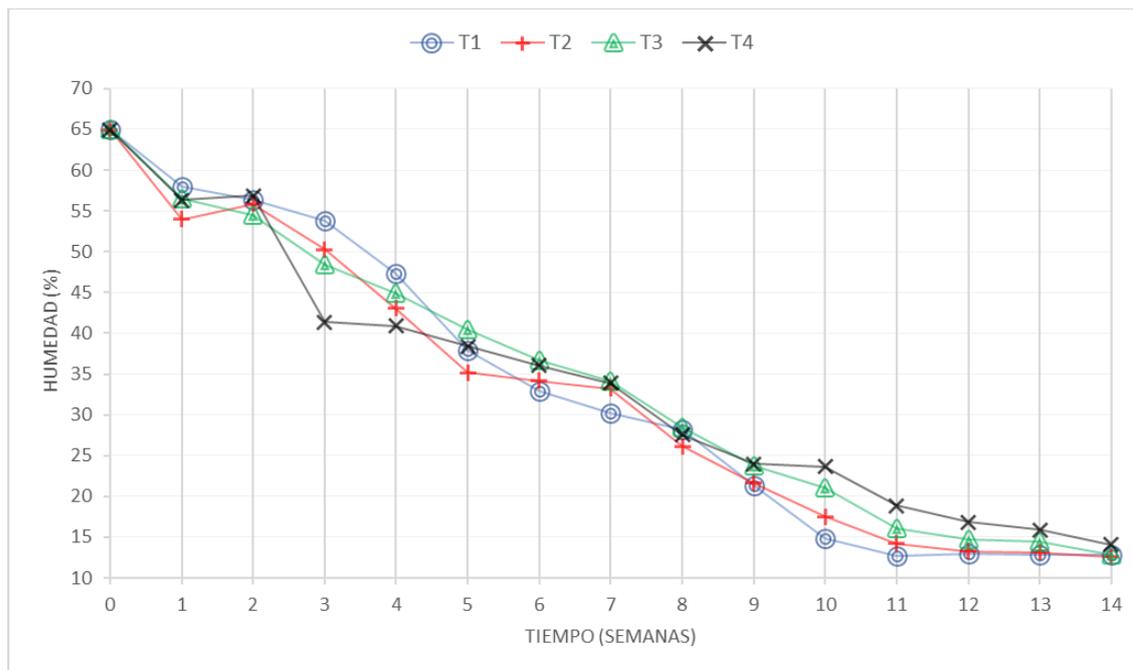
Figura 4.3 Valores de pH durante el Bioproceso



Elaborado por: Jorge Enríquez

4.3.2 HUMEDAD

La humedad inicial fue de un 64.97% y aunque hubo pequeñas variaciones entre los tratamientos, al finalizar el tiempo de observación todos terminaron en un valor similar, siendo el tratamiento T4 el que presentó mayor humedad con un 14.09% (Ver anexo 2). Los demás tratamientos y el blanco presentan valores cercanos a 13% (Ver Figura 4.4).

Figura 4.4 Valores de humedad durante el Bioproceso

Elaborado por: Jorge Enríquez

Como se menciona en el numeral 4.2.2, al tener una humedad relativa menor al 70%, los escarabajos toman agua de la gallinaza para su ingesta, sin embargo, a partir de la semana 11 se dejó de observar disgregación de los grumos de gallinaza. Los cuales se encontraban fuertemente compactados, dándose con ello un incremento de la mortalidad de los escarabajos.

Para corroborar si la falta de humedad hacía inaccesible el alimento para los escarabajos debido a la fuerte compactación, se realizó un ensayo, en el cual se humedeció dos grumos de gallinaza hasta su punto de saturación y se colocó escarabajos adultos del tratamiento T4 (Ver Figura 4.5), obteniendo como resultado la disgregación y digestión por parte de los escarabajos (Ver Figura 4.6).

Figura 4.5 Grupo de gallinaza al final del tratamiento T4



Elaborado por: Jorge Enríquez

Figura 4.6 Restos del grupo de gallinaza humedecido



Elaborado por: Jorge Enríquez

Vergara & Gazani (1996), mencionan que les favorece una humedad del 15% cuando se encuentran en granos, pero para el caso de la gallinaza se observó que en la semana 12, a pesar de que la humedad de la gallinaza era de aproximadamente 13.26, 14.72 y 16.83% (Ver anexo 2), en los tratamientos T2, T3 y T4, respectivamente, los escarabajos no podían acceder al alimento debido a la fuerte compactación de la gallinaza, provocando la mortalidad de la especie.

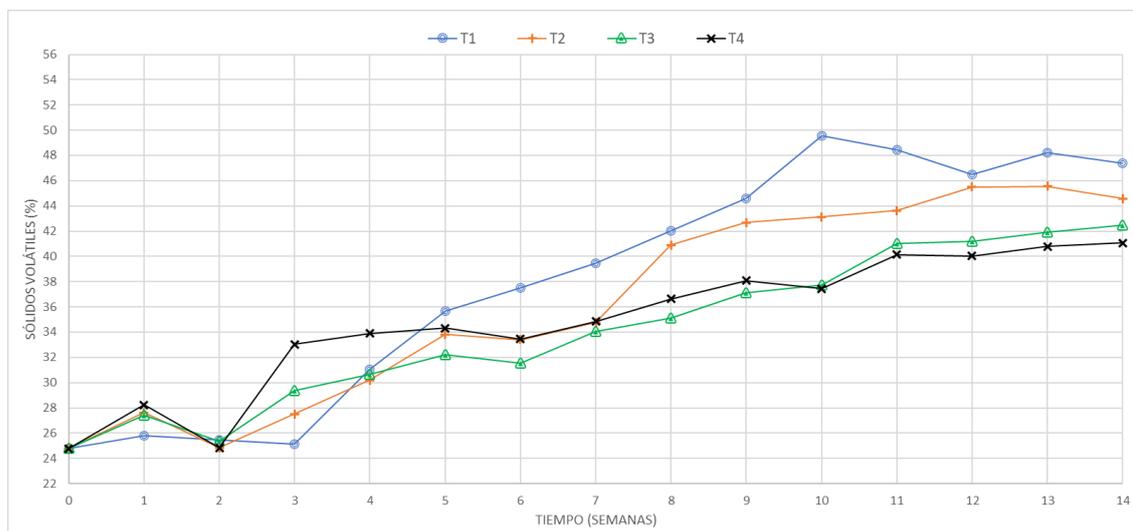
Por lo tanto, tomando como referencia el valor de humedad más alto de la semana 11, que corresponde al tratamiento T4 con un valor de 18.83%, se puede deducir que el escarabajo del estiércol no puede ingerir gallinaza que tenga una humedad menor a 19% aproximadamente.

4.3.3 SÓLIDOS VOLÁTILES

El material volátil se asocia principalmente con el contenido de materia orgánica presente en la muestra. En la Figura 4.7 se observa que los tratamientos T3 y T4 presentan menor volatilidad, lo que indica una mayor digestión de la materia orgánica. Esta tendencia creciente se debe a que las muestras tenían en un inicio

una humedad de 64.97%, por lo tanto, el mayor contenido de las muestras era agua y de la fracción sólida solo el 24,77% correspondía a sólidos volátiles (ver anexo 3). Es así que al ir disminuyendo la humedad de la muestra aumenta el contenido de sólidos y por ende el contenido de sólidos volátiles.

Figura 4.7 Valores de sólidos volátiles durante el bioproceso

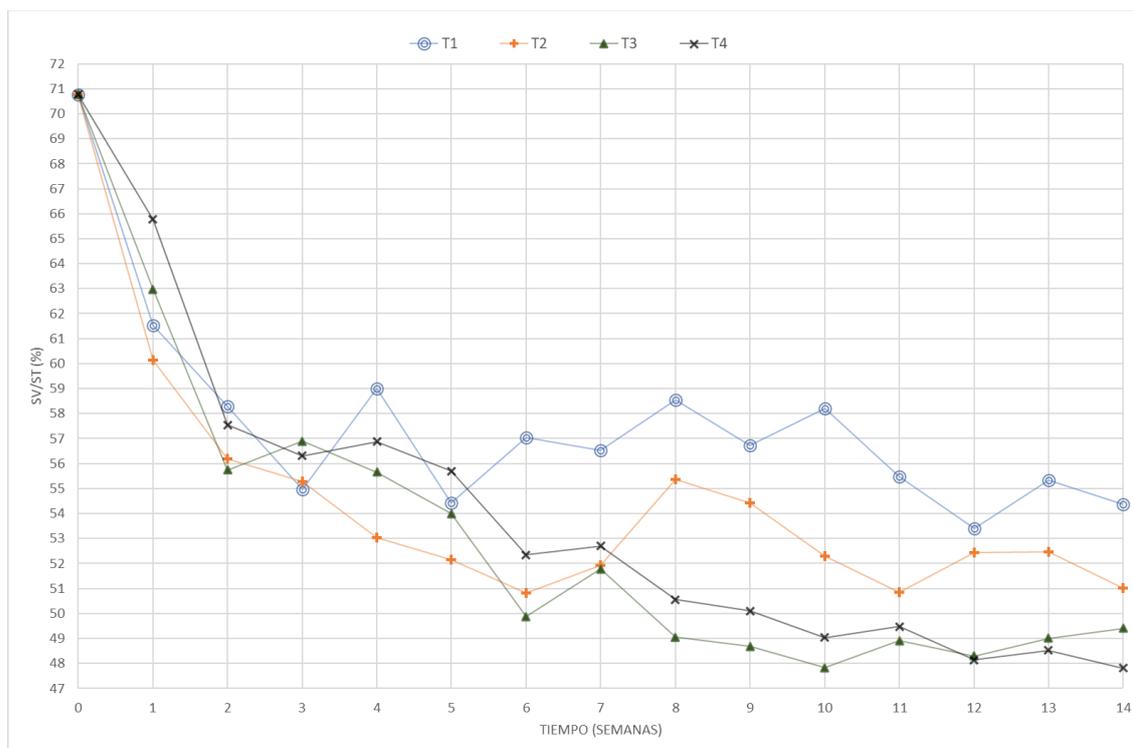


Elaborado por: Jorge Enríquez

Como se puede observar la Figura 4.7 la curva de los tratamientos T2, T3 y T4 tiende a estabilizarse a partir de la semana 11.

4.3.4 SÓLIDOS VOLÁTILES/SÓLIDOS TOTALES

En la Figura 4.8 se observa que las curvas tienden a estabilizarse a partir de la semana 11 obteniendo valores similares de 48.90 y 49.48%, para los tratamientos T3 y T4, respectivamente (Ver anexo 4). En el caso del blanco se obtuvo un valor final de 54.37%, lo que demuestra que sin la ayuda de un tratamiento a la gallinaza le tomaría más tiempo estabilizarse por sí sola.

Figura 4.8 Relación sólidos volátiles/sólidos totales durante el bioproceso

Elaborado por: Jorge Enríquez

Como se mencionó en el numeral 2.3, la relación SV/ST refleja el grado de estabilización de la materia orgánica y mientras menor sea su valor más estable se encuentra el residuo (Cattani, 2018). En la figura 4.8 se puede observar una influencia directa entre el número de escarabajos y el grado de estabilización, siendo los tratamientos T3 y T4 en la semana 14 los que presentan mayor estabilización por tener los valores más bajos de la relación SV/ST, con 49.41% y 47.82% respectivamente. Sin embargo, para residuos orgánicos se busca llegar a una relación SV/ST = 30% o menor, por lo que en los tratamientos T3 y T4 no se encuentran en una estabilización óptima.

Además, como se discutió en el numeral 4.3.2, los valores de humedad menores al 19% hicieron inaccesible el alimento para los escarabajos en todos los tratamientos, por lo que hubo varias porciones que no pudieron ser digeridas y presentan todavía contenido de materia orgánica, mismo que se encuentra reflejado en los valores de sólidos volátiles de la Figura 4.8.

Se podría presumir que si la humedad de la gallinaza después de la semana 11, hubiera sido la óptima, los escarabajos habrían podido digerir mucha más materia

orgánica y obtener un valor más bajo de SV/ST para el mismo tiempo.

4.4 CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS OBTENIDOS

Para la caracterización final de los residuos de los tratamientos T2, T3 y T4 se analizó los mismos parámetros que en la caracterización inicial, tales como; apariencia, color, olor, densidad aparente, pH, humedad, ST, SV, SV/ST, relación C/N, carbono orgánico y mortalidad de escarabajos. Los parámetros de coliformes totales, coliformes fecales [NMP/g], materia orgánica, nitrógeno total, fósforo (P_2O_5) y potasio (K_2O), fueron realizados únicamente al tratamiento que presentó mayor estabilidad (T4). Los resultados de la caracterización y del tratamiento más estable (T4) se presentan en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2 Caracterización final de los tratamientos utilizados

PARÁMETRO	UNIDAD	T2	T3	T4
Apariencia	-	Material sólido con fragmentos compactados	Material sólido, poco disgregado, con fragmentos compactados	Material sólido y disgregado, con fragmentos compactados.
Color	-	Marrón claro	Marrón claro	Marrón claro
Olor	-	Débil, con una ligera molestia.	Débil, con una ligera molestia.	Débil, con una ligera molestia.
Densidad aparente	g/cm ³	0.38	0.40	0.45
pH	-	9.17	9.37	9.44
Humedad		12.61	12.85	14.09
Sólidos totales	%	87.39	87.15	85.91
Sólidos volátiles	%	44.59	42.46	41.08
SV/ST	%	51.03	49.41	47.82
Materia orgánica	%	-	-	48.8

(Continuación tabla 4.2)

Nitrógeno total	%	-	-	3.00*
Fósforo (P ₂ O ₅)	%	-	-	0.79*
Potasio (K ₂ O)	%	-	-	3.93*
Relación C/N	-	-	-	9.42**
Carbono orgánico	%	-	-	28.3**
Coliformes totales [NMP/g]	NMP/g	-	-	200
Coliformes fecales [NMP/g]	NMP/g	-	-	54
Mortalidad de escarabajos	%	95.2	91.5	92.14

Nota: * Valor reportado en base seca (Ver anexo 5), ** Valor teórico en función de ecuación 3.5

Elaborado por: Jorge Enríquez

Al comparar el olor, la presencia de material disgregado (densidad aparente) y la relación SV/ST en los tratamientos T2, T3 y T4, se observa que en cuanto a olor los tres presentaron los mismos resultados (olor débil). En relación al contenido de material disgregado el tratamiento T4 presentó mayor contenido que los tratamientos T2 y T3 (Ver Figura 4.9), evidenciándose en su valor más alto de densidad aparente (0.45). Por otro lado, el tratamiento T4 alcanzó la relación más baja de sólidos volátiles sobre sólidos totales, con un valor de 47.82%. El cual se acerca a la relación que sugería Encarnación & Enríquez (2014), del 30%. Por lo que se lo consideró el tratamiento más estable en cuanto a parámetros físicos, para ser evaluado a nivel químico y microbiológico, numeral 4.5.

Figura 4.9 Material disgregado obtenido del tratamiento T4



Elaborado por: Jorge Enríquez

Figura 4.10 Material compactado obtenido del tratamiento T4



Elaborado por: Jorge Enríquez

Como observación adicional al comparar los tratamientos con el blanco, se comprobó el efecto controlador de larvas de moscas mencionado por Sarmiento (2018) y un efecto antifúngico similar al que había descrito Poveda (2018), para el caso del escarabajo molinero por la presencia de quitina en sus excretas.

En el blanco se observó mayor presencia de moscas durante las primeras semanas y el crecimiento de un hongo blanco a partir de la semana 3 (Ver Figura 4.11), el cual no se desarrolló en los tratamientos T3 y T4, pero si en una pequeña cantidad en el tratamiento T2.

Figura 4.11 Hongo presente en el blanco (T1) en la semana 4



Elaborado por: Jorge Enríquez

4.5 USO POTENCIAL DEL RESIDUO OBTENIDO

Como se describió en el numeral 2.5, una enmienda es definida como un producto de origen orgánico o inorgánico que al aplicarlo al suelo tiene la capacidad de modificar sus condiciones físicas, químicas o biológicas, más no la de aportar una gran cantidad de nutrientes al suelo como en el caso de los fertilizantes. Sin embargo, dentro de los requisitos específicos para enmiendas orgánicas, no existe una restricción en cuanto al porcentaje de nutrientes, según AGROCALIDAD.

De acuerdo a la FAO (2002), un fertilizante es cualquier material natural o fabricado, que contenga al menos 5% de uno o más de los tres macronutrientes primarios (N, P_2O_5 , K_2O). Por lo cual, siguiendo este criterio, el residuo obtenido para el tratamiento T4 no debe ser considerado como un fertilizante orgánico, debido a que todos los resultados de macronutrientes primarios son menores a 5%, (N – 3 %, P_2O_5 – 0.79 %, K_2O – 3.93 %), Tabla 4.2. La comparación los resultados se observa en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3 Comparación de resultados del tratamiento T4

Requisito	Descripción	Residuo T4
1. Componentes	No existe una restricción, sin embargo, se debe declarar como parte de su riqueza en la etiqueta si la concentración garantizada del elemento es igual o mayor al 3% en macronutrientes principales (Tabla 2.14).	Nitrógeno total: 3.00* % Potasio (K ₂ O): 3.93* % (Calcio, magnesio, azufre y sodio (Na ₂ O) no se realizó)
2. Materia orgánica total	Debe ser igual o mayor al 25% para considerarse como enmienda orgánica.	42.03 %
3. Sustancias húmicas	Sin especificar	(No se realizó el ensayo)
4. Certificado de análisis de microorganismos patógenos	Indicar la ausencia de microorganismos patógenos <i>E. coli</i> , <i>Salmonella</i> sp., Fito patógenos y <1000 NMP/g (número más probable) o UFC/g o ml del producto para coliformes.	Coliformes totales = 200 [NMP/g] Coliformes fecales = 54 [NMP/g] (<i>Salmonella</i> y fito patógenos no se realizó)
5. Relación Carbono-Nitrógeno	Indicar la relación Carbono Nitrógeno (C/N).	9.42**
6. Carbono orgánico	Indicar el % de Carbono.	28.3**
7. Conductividad eléctrica	Expresar en dS/m o μ S/cm y determinada a 20 o a 25 °C.	(No se realizó el ensayo)

Nota: * Valor reportado en base seca, ** Valor teórico calculado en función de ecuación 3.5

Elaborado por: Jorge Enríquez

Como se puede observar en la Tabla 4.3, los valores limitantes para que el residuo sea considerado como enmienda orgánica son únicamente materia orgánica y microorganismos patógenos. Comparando estos requisitos limitantes, vemos que en el caso de materia orgánica si cumple con la normativa (42.03 > 25%), pero para el caso de los requisitos microbiológicos, no se realizó análisis tan específicos como la ausencia de *E. Coli* y *Salmonella sp.*, sino únicamente de manera general el

número más probable de coliformes totales y fecales, por lo cual estos parámetros deberían contemplarse en un estudio posterior.

En lo concerniente al contenido de coliformes totales el residuo obtenido si cumple el requisito de tener un número más probable menor a 1000 [NMP/g], pero para el caso de *E. Coli* y *Salmonella sp.* no se podría afirmar que el residuo no contiene estos patógenos. Sin embargo, se esperaría la ausencia de *Salmonella sp.* debido a que el dueño de la granja vacuna periódicamente a las gallinas para prevenir la enfermedad. Por otro lado, las bacterias predominantes del grupo de coliformes fecales son las bacterias Gram-negativas *E. Coli.*, y en este caso el residuo presenta valores bajos de coliformes fecales, esperando la ausencia también de este grupo predominante *E. Coli.*

4.6 DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS Y ESCARABAJOS

Los grumos de gallinaza restante en los tratamientos T1, T2, T3 y T4 al no encontrarse estables pueden ser humedecidos y reincorporados a un nuevo proceso de estabilización y al final se deberá realizar los ensayos requeridos para enmiendas orgánicas descritos en la tabla 2.13. Sin embargo, para consideración de futuros modelos de tratamiento solo se emplearía condiciones óptimas (T4 - 350 g de escarabajos / 7 kg gallinaza).

Considerando el bajo valor de coliformes fecales al final de tratamiento (54 NMP/g) y para precautelar el cumplimiento de parámetros microbiológicos en el residuo a ser empleado como enmienda, se propone un método de desinfección para eliminar bacterias en suelos denominado "Solarización". Este método consiste en tapar los suelos húmedos (o en este caso el residuo de la gallinaza) con un plástico transparente en los días más calurosos para aumentar la temperatura en el interior debido al efecto de la radiación solar. Los rayos del sol atraviesan el plástico transformándose en calor, lo que provoca modificaciones físicas, químicas y biológicas, que van a conseguir la destrucción de agentes nocivos (Arboleya, 2018).

Por otro lado, los escarabajos *Alphitobius diaperinus* pueden representar un riesgo para la salud cuando se encuentran infectados con agentes patógenos que los convierten en vectores de posibles enfermedades, por tanto, es imprescindible considerar este parámetro para determinar su disposición.

Al finalizar el estudio experimental se obtiene una fracción de insectos vivos y una fracción de insectos muertos, que contienen agentes patógenos sea en su tracto digestivo o en la superficie de su cuerpo. Los escarabajos sobrevivientes pueden ser usados nuevamente para un nuevo proceso de estabilización, mientras que la fracción de insectos muertos, se propone someter a solarización y disponer mediante el método de entierro, evitando suelos arenosos o con grava y con un nivel freático poco profundo, el sitio de eliminación debe ser alejado de zonas residenciales, pozos de agua potable, acuíferos poco profundos o áreas inundadas (Rahman & Berg, 2017).

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La gallinaza de jaula a la cual se le realizó la caracterización presenta principalmente un olor muy fuerte, con molestias graves (según la tabla de intensidad y tono hedónico); altos contenidos de humedad (64.97%), de materia orgánica (69.71%), de coliformes fecales (3.87×10^5 NMP/g) y relación de SV/ST (70.78%), por lo cual presenta un riesgo para la salud humana y un riesgo para el ambiente.
- Se implementaron biorreactores tipo batch rectangulares de $35 \times 37 \times 30 \text{ cm}^3$ con proceso aerobio; empleando 7 kg de gallinaza de jaula en cada uno y variando la cantidad de escarabajos en 0g (T1), 87.5g (T2), 175 g (T3) y 350g (T4) respectivamente. Durante el bioproceso se observó que es necesario un sistema de hidratación al sustrato y en caso de desear acelerar la estabilización del residuo, se debe agregar un sistema que proporcione calor al biorreactor hasta que alcance una temperatura entre 30 y 33 °C, que es la temperatura óptima de desarrollo del escarabajo del estiércol.
- Los parámetros que se monitorearon diariamente fueron: temperatura ambiental, temperatura de los biorreactores y humedad relativa del aire, donde se observó que el laboratorio actúa como un aislante térmico del medio ambiente, puesto que la temperatura más baja que se registró fue de 18°C, también se observó que la temperatura del biorreactor es directamente proporcional a su contenido de humedad y presencia de microorganismos.
- A partir de las 12 semanas, el contenido de humedad en los tratamientos T2, T3 y T4 es insuficiente para que los escarabajos degraden la gallinaza debido a la fuerte compactación. A partir del valor referencial más alto para la semana 11 en el T4 (18.83%), se dedujo que el escarabajo del estiércol no puede ingerir gallinaza con una humedad menor al 19% aproximadamente.
- Se observa que luego de un lapso de 14 semanas, a la gallinaza fresca le toma más tiempo estabilizarse por sí sola, alcanzando un valor de 54.37%

SV/ST, mientras que, con la influencia de 87.5, 175 y 350 g de escarabajo se incrementa la estabilización alcanzando valores de 51.03, 49.41 y 47.82 % SV/ST, respectivamente. Es decir que, al incrementar la concentración de escarabajos para el tratamiento, la cantidad de materia orgánica presente en la gallinaza disminuye directamente en el tiempo, acelerando el proceso de estabilización.

- Para el tratamiento más eficiente (T4: 350g/7kg), el residuo presenta un contenido de macronutrientes primarios del 3 % N, 0.79 % P₂O₅ y 3.93 % K₂O, que al no superar el 5%, encaja en la categoría de enmienda orgánica, según la FAO. Por otra parte, se tiene valores de 14.09% de contenido de humedad, 48.8% de materia orgánica, 54 NMP/g de coliformes fecales, pH de 9.44 y densidad aparente de 0.45 g/cm³. Sin embargo, al tener una relación SV/ST del 47.82 %, este residuo todavía debería hidratarse y degradarse hasta un valor de al menos 30 % SV/ST para poder ser utilizado como enmienda orgánica en suelos ligeramente ácidos, comprobándose, además, la ausencia de *E. Coli*, *Salmonella* y fitopatógenos. Adicionalmente se puede incluir la desinfección por la técnica de solarización en caso de existir alguno de estos patógenos.

5.2 RECOMENDACIONES

- Contemplar la utilización de sorbona para los ensayos de sólidos volátiles, puesto que durante la calcinación de las muestras de gallinaza se desprende gran cantidad de humo.
- Para ensayos de coliformes fecales en este tipo de muestras se recomiendan diluciones de orden igual o mayor a 10⁻⁶.
- Para continuar con esta investigación, es necesario considerar que, para el escalamiento a un modelo piloto, se puede emplear una mayor cantidad de masa para degradación, de tal forma que se aproveche de manera más eficiente la capacidad del reactor (3/4 del volumen).
- Usar equipos de protección personal (mascarilla, gafas y guantes) para la manipulación de la gallinaza tratada con el escarabajo del estiércol.
- Tener un buen control de humedad para este tipo de tratamiento. Debido a que el escarabajo del estiércol *Alphitobius diaperinus* no puede digerir

gallinaza con valores de humedad inferiores al 19%, por lo que se recomienda instalar un sistema de hidratación por aspersores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGROCALIDAD. (2015). *Instructivo para toma de muestras de suelo*.
- AGROCALIDAD. (2017). Manual de Aplicabilidad de Buenas Prácticas Avícolas. In *Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca del Ecuador Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro* (p. 154). MAGAP.
- Amado, E., & Prada, S. (2012). *Evaluación de la producción de biogas a partir de pollinaza* [Universidad de Pamplona]. https://doi.org/10.20595/jjbf.19.0_3
- Andrade, E. (2008). *Reciclaje : Utilización De Desechos Orgánicos Para Obtener Abono Orgánico*. Universidad San Francisco de Quito.
- Andrews, W. (1997). Manual of Food Quality Control. In *Manual of Food Quality Control*.
- Arboleya, J. (2018). Solarización: una técnica de manejo integrado de malezas y plagas en horticultura. In *INIA Serie técnica*. <https://doi.org/10.35676/inia/st.245>
- ArborAcre. (2009). *Guía de Manejo del Pollo de Engorde*. 31–33.
- Arce, J. (2011). *Diseño de un biodigestor para generar biogás y abono a partir de desechos orgánicos de animales aplicable en las zonas agrícolas del litoral*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil.
- Arellano, D., & Velásquez, S. (2007). *Cría de Invertebrados para alimentación complementaria*. 1–7.
- Arias, F. (2010). *Manual de Técnicas Analíticas para la Determinación de Parámetros Físico-Químicos y contaminantes Marinos*. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras.
- Armani, A., Centeno, N., & Dahinten, S. (2015). Primer estudio de artropodofauna cadavérica sobre modelos experimentales porcinos en el noreste de la provincia del Chubut, Argentina. *Revista de La Sociedad Entomológica Argentina*.
- Basto Gómez, E. S. (2016). *Régimen jurídico del aroma y de la contaminación por hedor*. Bosch Editor.
- Belduma, A. (2015). *Evaluación de la producción de biogás a partir de la degradación de la gallinaza sometida a diferentes relaciones C/N*. Universidad Técnica de Machala.

- Berrelleza, L. G. (2014). *Biometanización de Residuos Sólidos Orgánicos*. Universidad de Sonora.
- Berrios, J. (2015). *Fuentes Y Niveles De Materia Orgánica En Condiciones De Invernadero*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Bougnom, B., Knapp, B., Elhottová, D., Koubová, A., Etoa, F. X., & Insam, H. (2010). Designer compost with biomass ashes for ameliorating acid tropical soils: Effects on the soil microbiota. *Applied Soil Ecology*, 45, 319–324. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.05.009>
- Briseño, L. (2017). *Producción de biogás a través de la codigestión de residuos sólidos y semi-sólidos: hacia una planta centralizada de biogás para la generación de energía*. Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica.
- Bueno Márquez, P., Díaz Blanco, M. J., & Cabrera, F. (2008). *Factores que afectan al proceso de compostaje*. <http://hdl.handle.net/10261/20837>
- Cabello, T. (2006). *Evaluación de agentes de control microbiológico*. Universidad de Almería.
- Cajamarca, D. (2012). *Procedimientos para la elaboración de abonos orgánicos*. Universidad de Cuenca.
- Calle, R. (2017). Universidad Técnica De Ambato. In *Evaluación agronómica del pepinillo (Cucumis sativus L.) híbrido diamante, cultivado aplicando diferentes abonos orgánicos comerciales en el cantón Cumandá, provincia de Chimborazo*.
- Camacho, A., Giles, M., Ortegón, A., Palao, M., Serrano, B., & Velázquez, O. (2009). Método para la determinación de bacterias coliformes, coliformes fecales y *Escherichia coli* por la técnica de diluciones en tubo múltiple (Número más Probable o NMP). In *Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos*.
- Carhuancho, F. (2012). Aprovechamiento del estiércol de gallina para la elaboración de Biol en Biodigestores tipo batch como propuesta al manejo de residuo avícola. In *Tesis*. Universidad Nacional Agraria.
- Castelló, J. (2011). Instalaciones Y Equipos Para Ponedoras. *Selecciones Avícolas*, 2(7), 23–27.
- Castillo, M., & Chiluisa, M. (2011). *Evaluación de tres abonos orgánicos (estiércol*

- de bovino, gallinaza y humus) con dos dosis de aplicación en la producción de pimiento (capsicum annum l.) en el recinto San Pablo de Maldonado, cantón la Maná, provincia de Cotopaxi. Universidad Técnica de Cotopaxi.*
- Cattani, D. (2018). *Estabilización de lodos activados provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante digestión anaerobia. Universidad de las Américas.*
- Cecco, L., González, H., Deluchi, P., Barrios, H., & De Franceschi, M. (2005). Determinación de los estados de desarrollo de *Alphitobius diaperinus* en granjas avícolas. *Revista Argentina de Producción Animal*, 25(1), 93–99.
- Chamalé, H. (2013). *Determinación de la eficacia de la cipermetrina al 5% en polvo como insecticida para el control de alphitobius diaperinus bajo la cama de galeras de aves de postura en piso. Universidad de San Carlos de Guatemala.*
- Chiriboga, O. (2010). *Desarrollo del Proceso de Producción de Biogás y Fertilizante Orgánico a partir de Mezclas de Desechos de Procesadoras de Frutas. Universidad San Francisco de Quito.*
- Chore-Time. (2017). *Jaulas para gallinas ponedoras.*
- Córdova, S., & Miño, D. (2015). *Producción de biogás a partir de gallinaza con la adición de promotores de fermentación a 3 dosis, cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi, periodo 2014 – 2015. Universidad Técnica de Cotopaxi.*
- Coronado, S. (2011). *Elaboración de Abono Orgánico Tipo Compost. Universidad de San Carlos de Guatemala. <https://doi.org/10.1051/forest>*
- Cuasquer, R. (2013). *Efectos de la aplicación de tres niveles de abonos orgánicos en el cultivo de haba (vicia faba l.) en la zona de cuesaca, provincia del carchi. Universidad Técnica de Babahoyo.*
- DANE. (2008). *Estimación e interpretación del coeficiente de variación de la encuesta cocensal.*
- Domínguez, I. (2012). *ALPHITOBIUS DIAPERINUS ¿UN PROBLEMA BAJO CONTROL O BAJO LOS COMEDEROS?*
- Dunfor, J., & Kaufman, P. (2015). *Lesser Mealworm , Litter Beetle , Alphitobius diaperinus (Panzer) (Insecta : Coleoptera : Tenebrionidae). 1–10.*
- Eguizalba, Y. (2017). *Eficiencia de un insecticida orgánico para el control del artrópodo alphitobius diaperinus en una granja avícola del distritito de huanchaco – provincia de trujillo la libertad- 2016 [Universidad Privada Antenor*

- Orrego]. <https://doi.org/DOI>:
- Encarnación, G., & Enríquez, L. (2014). *Evaluación Técnica Ambiental de un Reactor Anaerobio de Alta Concentración de Sólidos Volátiles*. Escuela Politécnica Nacional.
- ESPAC. (2018). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua*. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.
- Espinoza, J. (2013). *Proyecto De Factibilidad Para La Creación De Una Microempresa Productora Y Comercializadora De Abonos En Base A Desechos Orgánicos, Para La Provincia De Santo Domingo De Los Tsachilas*. Universidad Nacional de Loja.
- Estrada, G., & Peña, A. (2017). Factores que afectan el buen desarrollo del compostaje de mortalidad porcina. *Porcicultura Colombiana*, 223, 24.
- Estrada, M. (2005). Manejo y procesamiento de la gallinaza. *Revista Lasallista de Investigación*, 2(1), 43–48.
- FAO. (2002). Los fertilizantes y su uso. *Ifa*.
- FAO. (2011). *Manual del Biogás*. <https://doi.org/10.1073/pnas.0703993104>
- FAO. (2013). Revisión del Desarrollo Avícola. In *Revisión del desarrollo avícola*.
- Galeano, L. (2014). *Caracterización de sistemas de producción avícola de huevo mediante la implementación de modelos de predicción y clasificación*. Universidad de Antioquia.
- Goyenola, G. (2007). *Determinación del pH*. Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos.
- Hang, S. (2014). *El complejo de intercambio (CI) del suelo-Capacidade de intercambio catiónica (CIC)*.
- Inca, J. (2016). *Diseño de un biodigestor para la obtención de biogas a partir de las excretas de las gallinas provenientes de la Granja Avícola "Bilbao" en la parroquia Cotaló – Pelileo*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- INEC. (2019). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Contínua*.
- INEN. (1998). *Fertilizantes o Abonos. Definiciones*.
- INFOAGRO. (2019). *El Compostaje (2º Parte)*.
- INTA. (2018). *Manual De Avicultura (Versión preliminar)*. Dirección de Educación Agraria.
- Llumiquinga, Y., & Parra, F. (2018). *Estudio Piloto par la estabilización de lodos*

- generados en la planta de tratamiento de aguas residuales del camal metropolitano de Quito mediante vermicompostaje.* Escuela Politécnica Nacional.
- López, J., Díaz, A., Martínez, E., & Valdez, R. (2001). Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra Latinoamericana*, 19(4), 293–299.
- Luna, C. (2017). *Estudio de Factibilidad para la Producción y Comercialización de Compost de Gallinaza en el Sitio Lozumbé, Parroquia San Roque, Cantón Piñas, Provincia de El Oro.* Universidad Nacional de Loja.
- MAG, & AGROCALIDAD. (2018). *Manual Técnico para el Registro y Control de Fertilizantes, Enmiendas de Suelo y Productos Afines de Uso Agrícola.*
- Martínez, E. (2005). *Efecto de composta elaborada a base de gallinaza sobre la producción de tomate en invernadero.* Universidad Autónoma Agraria.
- McAllister, J., Steelman, C., Skeeles, J., Newberry, L., & Gbur, E. (1996). Reservoir Competence of *Alphitobius diaperinus* (Coleoptera: Tenebrionidae) for *Escherichia coli* (Eubacteriales: Enterobacteriaceae). *Journal of Medical Entomology*, 33(6), 983–987. <https://doi.org/10.1093/jmedent/33.6.983>
- Molina, B. (2013). *Manual de gallinas ponedoras.* Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica.
- Monsalvec, O., Gutiérrez, J., & Cardona, W. (2017). Factores que intervienen en el proceso de mineralización de nitrógeno cuando son aplicadas enmiendas orgánicas al suelo. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 11(1), 200–209. <https://doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.5663>
- Montesdeoca, G., & Salazar, A. (2017). *EVALUACIÓN DE RELACIONES ENTRE GALLINAZA Y AGUA EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN LA GRANJA AVÍCOLA “ ZAMBRANO PONCE ” DEL CANTÓN CHONE.* Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí.
- Morocho, M. (2014). *Diseño de un Plan de Administración Ambiental para la Granja Avícola NUTRIVIT.* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Mullo, I. (2012). *Manejo y procesamiento de la gallinaza.* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Navarro, M. (2007). Demanda bioquímica de oxígeno 5 días, incubación y electrometría. In *Laboratorio de Calidad Ambiental.* Instituto de Hidrología,

Meteorología y Estudios Ambientales.

- Navarro, N. (2017). *Potencial técnico para la producción de biogás, generado a partir de residuos orgánicos producidos en la comuna de Independencia*. Universidad de Chile.
- Ninco, C., & Sánchez, J. (2017). *Propuesta para la producción de abono orgánico mediante el compostaje de los residuos sólidos del municipio El Rosal, Cundinamarca* [Fundación Universidad de América]. <https://doi.org/DOI:>
- Paneque, Victor; Calaña, Juan; Calderon, M. (2010). Manual de técnicas Analíticas para Análisis de suelos, foliar, Abonos Orgánicos y Fertilizantes químicos. In *Instituto Nacional de ciencias agrícolas- INCA*.
- Perez, M., & Villegas, R. (2009). *Procedimientos para el manejo de residuos orgánicos avícolas*. Universidad de Antioquia.
- Pérez, M., & Villegas, R. (2009). *Procedimientos para el Manejo de Residuos Orgánicos Avícolas*. Universidad de Antioquia.
- Polo, K. (2014). *Formulación para un plan integral de residuos sólidos para la avícola Villa Mabe ubicado en el Vino-Cundinamarca*. Universidad Militar Nueva Granada.
- Poveda, J. (2018). Nuevos abonos a partir de excrementos de insecto: el caso del gusano de la harina (*Tenebrio molitor*). *Ingeniería y Región*, 19(1), 1–10. <https://doi.org/10.25054/22161325.1840>
- Rahman, S., & Berg, M. (2017). Animal carcass disposal options. *NDSU*.
- Ramos, L. (2014). *Producción de biogas a partir de biomasa de la microalga Scenedesmus sp. procedente de diferente procesos*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Reyes Aguilera, E. A. (2016). Producción de biogas a partir de Biomasa. *Revista Científica de FAREM-Estelí*, 17, 11–22. <https://doi.org/10.5377/farem.v0i17.2610>
- Reyes, E. (2017). Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos. *Revista Científica de FAREM-Estelí*, 6(24). <https://doi.org/10.5377/farem.v0i24.5552>
- Rodríguez, C. (2007). *Demanda química de oxígeno por reflujos cerrados y volumetría* (p. 11). Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- Rodríguez, M. (2018). Modelado de la mineralización de la gallinaza de jaula bajo

- el efecto de *Alphitobius diaperinus* “escarabajo del estiércol.” In *Repositorio Digital UNITRU*.
- Roman, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. FAO.
- Romero, L. (2015). “Evaluación de dos fórmulas alimenticias con diferentes niveles de proteína en pollos parrilleros.” Universidad Politécnica Salesiana.
- Romero, N. (2006). Metodos De Analisis Para La Determinacion De Nitrógeno Y Constituyentes Nitrogenados En Alimentos. In *Producción Y Manejo De Datos De Composición Química De Alimentos En Nutrición* (Vol. 0).
- Romo, D. (2015). *Modelización De Un Sistema De Generación Distribuida Basada En Biogás Como Fuente De Energía Alternativa*. Universidad Politécnica Salesiana.
- Rotoplast. (2018). *Ficha Técnica Biodigestor Autolimpiable*.
- Sánchez, M. (2013). Determinación de los niveles de Bioseguridad en granjas avícolas de aves de postura de la parroquia de Cotaló del cantón Pelileo [Universidad Técnica de Ambato]. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Santo, V. (2011). Control de *Alphitobius diaperinus* (col. tenebrionidae) en granjas avícolas. *Selecciones Avícolas*, 11(8), 19–23.
- Sarmiento, A. (2018). *Establecimiento e implementación de un protocolo de cría de gusano de harina Tenebrio molitor (Coleoptera: Tenebrionidae), como apoyo al programa de conservación de la rana venenosa dorada Phyllobates terribilis (Anura: Dendrobatidae) en el Bioparque Wak*. Universidad Nacional Abierta y A Distancia.
- Simon, J. (2017). *Niveles de fertilización con pollinaza y su efecto en las características agronómicas del pasto Brachiaria ruzizensis en Zungarococha-2016*. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.
- Toala, E. (2013). *Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogas a partir del estiércol de ganado en el rancho verónica*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- UNAM. (2008). *Fundamentos Y Técnicas Analisis De Alimentos*. Universidad Nacional Autónoma de México-Facultad de Química.
- Uribe, J., Estrada, M., Córdoba, S., Hernández, L., & Bedoya, D. (2001). Evaluación

- de los Microorganismos eficaces (E. M) en producción de abono orgánico a partir del estiércol de aves de jaula. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 14(2), 164–172.
- Valencia, N. (2008). *Secado Solar De Lodos*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Vargas, O. (2016). *Universidad Técnica de Machala*. Universidad Técnica de Machala.
- Vásquez, E., & Rojas, T. (2016). *pH: Teoría y 232 problemas*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Vergara, C., & Gazani, R. (1996). Biología *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae). *Revista Peruana de Entomología*, 39(1), 1–5.
- Williams, C. (2011). Gestión de residuos de aves de corral en los países en desarrollo. *Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura*.
- Zagal, E., & Sadzawka, A. (2007). Protocolo de Métodos de Análisis para suelos y lodos. *SAG Servicio Agrícola y Ganadero. Chile*.

ANEXOS

ANEXO 1
MONITOREO DE PH

Se promedia el valor de los triplicados, se obtiene la desviación estándar y el coeficiente de variación, con base a las siguientes ecuaciones:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N}}$$

$$CV = \frac{\sigma}{|\bar{X}|} * 100\%$$

Siendo (X_1, X_2, \dots, X_N) el conjunto de observaciones y N el número total de observaciones.

Mediante el método descrito en la Tabla 3.4, se realizó el seguimiento de pH para cada método de tratamiento, por triplicado y de manera semanal durante el lapso de 14 semanas. Los resultados de las mediciones de pH semanales se presentan a continuación:

BLANCO (T1): gallinaza en condiciones ambientales

Tabla A1. 1. Valores semanales promedio de pH, desviación estándar y coeficiente de variación de cada uno.

pH (valores semanales)						
TIEMPO	TRATAMIENTO			PROMEDIO	DESV. ESTÁNDAR	COEF. VARIACIÓN
	T1	T1.1	T1.2			
Semana 0	8.50	9.10	7.90	8.50	0.60	7.06
Semana 1	8.94	9.10	9.20	9.08	0.13	1.44
Semana 2	9.32	9.30	9.21	9.28	0.06	0.63
Semana 3	9.05	8.97	9.03	9.02	0.04	0.46
Semana 4	8.99	9.30	8.67	8.99	0.32	3.51
Semana 5	8.92	8.97	8.89	8.93	0.04	0.45
Semana 6	9.96	10.27	9.83	10.02	0.23	2.26
Semana 7	10.24	10.01	10.47	10.24	0.23	2.25
Semana 8	10.04	10.50	9.58	10.04	0.46	4.58
Semana 9	10.01	9.83	9.65	9.83	0.18	1.83
Semana 10	9.36	9.42	9.30	9.36	0.06	0.64
Semana 11	9.00	8.90	8.95	8.95	0.05	0.56
Semana 12	9.01	8.88	9.20	9.03	0.16	1.78
Semana 13	9.20	8.91	8.83	8.98	0.19	2.17
Semana 14	9.08	8.91	9.08	9.02	0.10	1.09

Elaborado por: Jorge Enríquez

TRATAMIENTO (T2): proporción 12.5 g escarabajos /kg gallinaza fresca

Tabla A1. 2. Valores semanales promedio de pH, desviación estándar y coeficiente de variación de cada uno.

pH (valores semanales)						
TIEMPO	TRATAMIENTO			PROMEDIO	DESV. ESTÁNDAR	COEF. VARIACIÓN
	T2	T2.1	T2.2			
Semana 0	8.50	9.10	7.90	8.50	0.60	7.06
Semana 1	9.10	8.96	8.91	8.99	0.10	1.10
Semana 2	9.42	9.42	9.37	9.40	0.03	0.31
Semana 3	9.36	9.26	9.29	9.30	0.05	0.55
Semana 4	9.26	9.50	9.01	9.26	0.25	2.65
Semana 5	9.15	8.98	9.13	9.09	0.09	1.02
Semana 6	10.03	9.71	9.85	9.86	0.16	1.63
Semana 7	10.19	10.24	10.14	10.19	0.05	0.49
Semana 8	10.35	10.39	10.31	10.35	0.04	0.39
Semana 9	10.16	10.21	10.10	10.16	0.06	0.54
Semana 10	9.76	9.63	9.89	9.76	0.13	1.33
Semana 11	9.28	9.31	9.25	9.28	0.03	0.32
Semana 12	9.30	9.28	9.32	9.30	0.02	0.22
Semana 13	9.25	9.27	9.23	9.25	0.02	0.22
Semana 14	8.99	9.18	9.34	9.17	0.18	1.91

Elaborado por: Jorge Enríquez

TRATAMIENTO (T3): proporción 25 g escarabajos /kg gallinaza fresca

Tabla A1. 3. Valores semanales promedio de pH, desviación estándar y coeficiente de variación de cada uno.

pH (valores semanales)						
TIEMPO	TRATAMIENTO			PROMEDIO	DESV. ESTÁNDAR	COEF. VARIACIÓN
	T3	T3.1	T3.2			
Semana 0	8.50	9.10	7.90	8.50	0.60	7.06
Semana 1	9.03	9.07	8.99	9.03	0.04	0.44
Semana 2	9.33	9.42	9.39	9.38	0.05	0.49
Semana 3	9.46	9.27	9.35	9.36	0.10	1.02
Semana 4	9.30	9.35	9.24	9.30	0.05	0.59
Semana 5	9.13	9.17	9.32	9.21	0.10	1.09
Semana 6	9.94	10.25	9.95	10.05	0.18	1.75
Semana 7	10.12	10.18	10.06	10.12	0.06	0.59
Semana 8	10.39	10.24	10.54	10.39	0.15	1.44
Semana 9	10.26	10.16	10.36	10.26	0.10	0.97
Semana 10	9.93	10.01	9.85	9.93	0.08	0.81
Semana 11	9.37	9.40	9.34	9.37	0.03	0.32
Semana 12	9.40	9.31	9.49	9.40	0.09	0.96
Semana 13	9.38	9.50	9.26	9.38	0.12	1.28
Semana 14	9.36	9.34	9.41	9.37	0.04	0.38

Elaborado por: Jorge Enríquez

TRATAMIENTO (T4): proporción 50 g escarabajos /kg gallinaza fresca**Tabla A1. 4.** Valores semanales promedio de pH, desviación estándar y coeficiente de variación de cada uno.

pH (valores semanales)						
TIEMPO	TRATAMIENTO			PROMEDIO	DESV. ESTÁNDAR	COEF. VARIACIÓN
	T4	T4.1	T4.2			
Semana 0	8.50	9.10	7.90	8.50	0.60	7.06
Semana 1	9.12	8.96	9.26	9.11	0.15	1.65
Semana 2	9.39	9.23	9.44	9.35	0.11	1.17
Semana 3	9.46	9.49	9.48	9.48	0.01	0.16
Semana 4	9.33	9.32	9.30	9.32	0.01	0.16
Semana 5	9.20	9.37	9.29	9.29	0.09	0.92
Semana 6	10.12	9.82	9.97	9.97	0.15	1.50
Semana 7	10.19	9.98	10.40	10.19	0.21	2.06
Semana 8	10.07	10.35	10.21	10.21	0.14	1.37
Semana 9	10.09	10.12	10.06	10.09	0.03	0.30
Semana 10	9.91	9.79	9.85	9.85	0.06	0.61
Semana 11	9.52	9.54	9.56	9.54	0.02	0.21
Semana 12	9.50	9.60	9.40	9.50	0.10	1.05
Semana 13	9.55	9.68	9.42	9.55	0.13	1.36
Semana 14	9.47	9.50	9.34	9.44	0.09	0.93

Elaborado por: Jorge Enríquez

ANEXO 2
MONITOREO DE HUMEDAD

A continuación, se presentan los valores promedio semanales del contenido de humedad, desviación estándar y coeficiente de variación.

BLANCO (T1): gallinaza en condiciones ambientales

Tabla A2. 5. Valores semanales promedio de humedad, desviación estándar y coeficiente de variación de cada uno.

Humedad de la muestra (valores semanales)						
TIEMPO	TRATAMIENTO			PROMEDIO	DESV. ESTÁNDAR	COEF. VARIACIÓN
	T1	T1.1	T1.2			
Semana 0	64.82	64.02	66.06	64.97	1.02	1.58
Semana 1	57.06	59.84	57.15	58.01	1.58	2.72
Semana 2	52.21	58.03	58.99	56.41	3.67	6.50
Semana 3	55.41	55.40	50.74	53.85	2.69	5.00
Semana 4	46.38	48.25	47.30	47.31	0.94	1.98
Semana 5	37.34	41.11	35.17	37.87	3.00	7.93
Semana 6	36.62	30.86	31.20	32.90	3.23	9.83
Semana 7	31.10	25.13	34.27	30.17	4.64	15.39
Semana 8	28.24	28.10	28.30	28.21	0.10	0.36
Semana 9	21.42	21.36	21.30	21.36	0.06	0.28
Semana 10	15.63	14.49	14.52	14.88	0.65	4.35
Semana 11	14.68	10.90	12.56	12.71	1.89	14.89
Semana 12	11.51	14.39	13.10	13.00	1.44	11.10
Semana 13	13.45	12.27	12.80	12.84	0.59	4.60
Semana 14	12.51	13.03	12.89	12.81	0.27	2.12

Elaborado por: Jorge Enríquez

TRATAMIENTO (T2): proporción 12.5 g escarabajos /kg gallinaza fresca

Tabla A2. 6. Valores semanales promedio de humedad, desviación estándar y coeficiente de variación de cada uno.

Humedad de la muestra (valores semanales)						
TIEMPO	TRATAMIENTO			PROMEDIO	DESV. ESTÁNDAR	COEF. VARIACIÓN
	T2	T2.1	T2.2			
Semana 0	64.82	64.02	66.06	64.97	1.02	1.58
Semana 1	57.95	47.66	56.37	53.99	5.54	10.26
Semana 2	55.39	57.84	54.30	55.85	1.81	3.25
Semana 3	50.32	51.01	49.40	50.24	0.81	1.62
Semana 4	43.30	43.10	42.79	43.06	0.26	0.60
Semana 5	36.28	33.05	36.18	35.17	1.84	5.23
Semana 6	32.73	30.53	39.31	34.19	4.57	13.36
Semana 7	37.91	31.49	30.16	33.19	4.14	12.48
Semana 8	26.14	25.96	26.30	26.13	0.17	0.65
Semana 9	21.43	21.57	21.80	21.60	0.19	0.87
Semana 10	15.97	16.99	19.53	17.50	1.84	10.49
Semana 11	14.79	12.52	15.23	14.18	1.45	10.24
Semana 12	13.63	13.36	12.80	13.26	0.42	3.19
Semana 13	12.91	13.18	13.40	13.16	0.25	1.86
Semana 14	12.37	12.99	12.47	12.61	0.33	2.66

Elaborado por: Jorge Enríquez

TRATAMIENTO (T3): proporción 25 g escarabajos /kg gallinaza fresca**Tabla A2. 7.** Valores semanales promedio de humedad, desviación estándar y coeficiente de variación de cada uno.

Humedad de la muestra (valores semanales)						
TIEMPO	TRATAMIENTO			PROMEDIO	DESV. ESTÁNDAR	COEF. VARIACIÓN
	T3	T3.1	T3.2			
Semana 0	64.82	64.02	66.06	64.97	1.02	1.58
Semana 1	58.70	58.41	52.38	56.50	3.57	6.32
Semana 2	59.85	50.50	53.22	54.52	4.81	8.82
Semana 3	46.97	47.78	50.50	48.42	1.85	3.82
Semana 4	43.72	46.16	44.90	44.93	1.22	2.71
Semana 5	40.47	44.53	36.47	40.49	4.03	9.96
Semana 6	37.31	37.43	35.21	36.65	1.25	3.41
Semana 7	36.42	34.03	32.04	34.16	2.19	6.41
Semana 8	28.48	27.71	29.20	28.46	0.75	2.62
Semana 9	23.63	23.41	24.20	23.75	0.41	1.72
Semana 10	21.98	20.34	20.83	21.05	0.84	4.01
Semana 11	16.66	16.45	15.18	16.10	0.80	4.96
Semana 12	14.40	14.57	15.20	14.72	0.42	2.87
Semana 13	15.30	14.08	14.12	14.50	0.69	4.78
Semana 14	12.92	13.60	12.02	12.85	0.79	6.13

Elaborado por: Jorge Enríquez

TRATAMIENTO (T4): proporción 50 g escarabajos /kg gallinaza fresca**Tabla A2. 8.** Valores semanales promedio de humedad, desviación estándar y coeficiente de variación de cada uno.

Humedad de la muestra (valores semanales)						
TIEMPO	TRATAMIENTO			PROMEDIO	DESV. ESTÁNDAR	COEF. VARIACIÓN
	T4	T4.1	T4.2			
Semana 0	64.82	64.02	66.06	64.97	1.02	1.58
Semana 1	55.49	49.66	63.90	56.35	7.16	12.70
Semana 2	56.09	57.82	56.63	56.85	0.88	1.55
Semana 3	39.47	43.29	41.30	41.35	1.91	4.62
Semana 4	38.66	41.13	41.40	40.40	1.51	3.74
Semana 5	37.86	38.98	38.40	38.41	0.56	1.46
Semana 6	37.57	34.57	36.10	36.08	1.50	4.16
Semana 7	36.44	31.65	33.50	33.86	2.41	7.12
Semana 8	27.41	27.00	28.20	27.54	0.61	2.22
Semana 9	23.10	24.50	24.30	23.97	0.76	3.15
Semana 10	25.83	21.58	23.60	23.67	2.13	8.98
Semana 11	20.98	17.02	18.50	18.83	2.00	10.64
Semana 12	16.88	17.20	16.40	16.83	0.40	2.39
Semana 13	15.87	15.75	16.10	15.91	0.18	1.13
Semana 14	14.62	13.55	14.10	14.09	0.53	3.79

Elaborado por: Jorge Enríquez

ANEXO 3
MONITOREO DE SÓLIDOS VOLÁTILES (SV)

A continuación, se presentan los valores promedio semanales de sólidos volátiles, desviación estándar y coeficiente de variación.

BLANCO (T1): gallinaza en condiciones ambientales

Tabla A3. 9. Valores semanales promedio de pH, desviación estándar y coeficiente de variación de cada uno.

Sólidos Volátiles (por semana)						
TIEMPO	TRATAMIENTO			PROMEDIO	DESV. ESTÁNDAR	COEF. VARIACIÓN
	T1	T1.1	T1.2			
Semana 0	23.53	25.08	25.70	24.77	1.11	4.50
Semana 1	25.88	25.12	26.48	25.82	0.68	2.64
Semana 2	28.65	24.73	22.95	25.44	2.92	11.47
Semana 3	25.36	24.91	25.69	25.32	0.39	1.54
Semana 4	30.21	32.29	30.70	31.07	1.09	3.51
Semana 5	35.05	36.30	29.60	33.65	3.56	10.59
Semana 6	35.84	39.21	39.78	38.28	2.13	5.56
Semana 7	39.18	42.17	37.08	39.48	2.56	6.47
Semana 8	40.67	40.82	44.61	42.03	2.23	5.31
Semana 9	43.08	44.72	46.01	44.60	1.47	3.29
Semana 10	47.50	50.62	50.55	49.56	1.78	3.60
Semana 11	47.90	48.20	49.20	48.43	0.68	1.41
Semana 12	44.46	48.60	46.36	46.47	2.07	4.46
Semana 13	46.20	49.21	49.26	48.22	1.75	3.63
Semana 14	47.94	47.77	46.50	47.40	0.79	1.66

Elaborado por: Jorge Enríquez

TRATAMIENTO (T2): proporción 12.5 g escarabajos /kg gallinaza fresca**Tabla A3. 10.** Valores semanales promedio de pH, desviación estándar y coeficiente de variación de cada uno.

Sólidos Volátiles (por semana)						
TIEMPO	TRATAMIENTO			PROMEDIO	DESV. ESTÁNDAR	COEF. VARIACIÓN
	T2	T2.1	T2.2			
Semana 0	23.53	25.08	25.70	24.77	1.11	4.50
Semana 1	24.53	30.22	28.09	27.61	2.88	10.42
Semana 2	25.19	23.19	26.10	24.83	1.49	6.01
Semana 3	28.31	25.56	28.70	27.52	1.71	6.21
Semana 4	30.08	30.31	30.19	30.19	0.12	0.39
Semana 5	31.84	35.06	34.55	33.82	1.73	5.11
Semana 6	35.11	33.78	31.33	33.41	1.92	5.74
Semana 7	30.56	35.04	38.71	34.77	4.08	11.74
Semana 8	37.45	41.01	44.22	40.89	3.39	8.28
Semana 9	43.14	42.33	42.56	42.68	0.42	0.98
Semana 10	41.92	44.80	42.70	43.14	1.49	3.46
Semana 11	42.50	43.90	44.50	43.63	1.03	2.35
Semana 12	44.47	46.80	45.20	45.49	1.19	2.62
Semana 13	45.60	46.20	44.90	45.57	0.65	1.43
Semana 14	43.67	45.51	44.60	44.59	0.92	2.07

Elaborado por: Jorge Enríquez

TRATAMIENTO (T3): proporción 25 g escarabajos /kg gallinaza fresca

Tabla A3. 11. Valores semanales promedio de pH, desviación estándar y coeficiente de variación de cada uno.

Sólidos Volátiles (por semana)						
TIEMPO	TRATAMIENTO			PROMEDIO	DESV. ESTÁNDAR	COEF. VARIACIÓN
	T3	T3.1	T3.2			
Semana 0	23.53	25.08	25.70	24.77	1.11	4.50
Semana 1	24.73	27.38	30.10	27.41	2.69	9.80
Semana 2	22.39	28.30	25.39	25.36	2.96	11.66
Semana 3	30.87	29.44	27.78	29.36	1.55	5.27
Semana 4	31.83	28.83	31.33	30.66	1.60	5.23
Semana 5	32.79	28.23	35.58	32.20	3.71	11.52
Semana 6	34.09	31.87	28.71	31.56	2.70	8.57
Semana 7	33.77	34.05	34.39	34.07	0.31	0.91
Semana 8	35.09	35.13	35.05	35.09	0.04	0.11
Semana 9	37.98	37.12	36.26	37.12	0.86	2.32
Semana 10	37.16	36.81	39.29	37.75	1.35	3.56
Semana 11	39.17	42.62	41.30	41.03	1.74	4.24
Semana 12	40.90	39.80	42.85	41.18	1.54	3.75
Semana 13	41.83	42.16	41.71	41.90	0.23	0.56
Semana 14	43.46	42.26	41.66	42.46	0.91	2.15

Elaborado por: Jorge Enríquez

TRATAMIENTO (T4): proporción 50 g escarabajos /kg gallinaza fresca**Tabla A3. 12.** Valores semanales promedio de pH, desviación estándar y coeficiente de variación de cada uno.

Sólidos Volátiles (por semana)						
TIEMPO	TRATAMIENTO			PROMEDIO	DESV. ESTÁNDAR	COEF. VARIACIÓN
	T4	T4.1	T4.2			
Semana 0	23.53	25.08	25.70	24.77	1.11	4.50
Semana 1	26.49	30.00	28.24	28.25	1.75	6.21
Semana 2	25.72	23.97	24.82	24.84	0.87	3.51
Semana 3	34.34	31.72	33.02	33.03	1.31	3.98
Semana 4	34.84	32.53	34.33	33.90	1.22	3.59
Semana 5	35.34	33.34	34.25	34.31	1.00	2.92
Semana 6	33.56	33.37	33.40	33.44	0.10	0.30
Semana 7	33.93	35.81	34.80	34.85	0.94	2.70
Semana 8	37.13	36.17	36.60	36.64	0.48	1.31
Semana 9	37.95	37.95	38.37	38.09	0.24	0.64
Semana 10	35.72	39.18	37.40	37.44	1.73	4.62
Semana 11	39.53	40.64	40.30	40.16	0.57	1.41
Semana 12	40.02	40.20	39.90	40.04	0.15	0.38
Semana 13	40.94	40.64	40.82	40.80	0.15	0.37
Semana 14	41.06	40.93	41.25	41.08	0.16	0.39

Elaborado por: Jorge Enríquez

ANEXO 4
RELACIÓN DE SÓLIDOS VOLÁTILES Y TOTALES
(SV/ST)

A partir de los valores obtenidos en el Anexo 3, y con los valores promedio de

sólidos volátiles, se calcula la relación SV/ST, con su respectiva desviación estándar y coeficiente de variación.

BLANCO (T1): gallinaza en condiciones ambientales

Tabla A4. 13. Valores semanales promedio de pH, desviación estándar y coeficiente de variación de cada uno.

Relación SV/ST (por semana)						
TIEMPO	TRATAMIENTO			PROMEDIO	DESV. ESTÁNDAR	COEF. VARIACIÓN
	T1	T1.1	T1.2			
Semana 0	66.90	69.71	75.72	70.78	4.50	6.36
Semana 1	60.26	62.54	61.79	61.53	1.16	1.88
Semana 2	59.96	58.92	55.97	58.28	2.07	3.55
Semana 3	56.87	55.84	52.15	54.95	2.49	4.52
Semana 4	56.33	62.40	58.25	58.99	3.10	5.26
Semana 5	55.94	61.64	45.66	54.41	8.10	14.88
Semana 6	56.55	56.72	57.82	57.03	0.69	1.21
Semana 7	56.87	56.32	56.42	56.54	0.29	0.51
Semana 8	56.67	56.77	62.22	58.55	3.17	5.42
Semana 9	54.82	56.87	58.46	56.72	1.82	3.22
Semana 10	56.29	59.20	59.14	58.21	1.66	2.85
Semana 11	56.14	54.10	56.27	55.50	1.22	2.20
Semana 12	50.24	56.77	53.35	53.45	3.26	6.11
Semana 13	53.38	56.09	56.49	55.32	1.69	3.06
Semana 14	54.80	54.93	53.38	54.37	0.86	1.58

Elaborado por: Jorge Enríquez

TRATAMIENTO (T2): proporción 12.5 g escarabajos /kg gallinaza fresca

Tabla A4. 14. Valores semanales promedio de pH, desviación estándar y coeficiente de variación de cada uno.

Relación SV/ST (por semana)						
TIEMPO	TRATAMIENTO			PROMEDIO	DESV. ESTÁNDAR	COEF. VARIACIÓN
	T2	T2.1	T2.2			
Semana 0	66.90	69.71	75.72	70.78	4.50	6.36
Semana 1	58.32	57.74	64.39	60.15	3.68	6.12
Semana 2	56.47	55.00	57.12	56.20	1.09	1.94
Semana 3	56.98	52.18	56.72	55.29	2.70	4.87
Semana 4	53.04	53.27	52.77	53.03	0.25	0.48
Semana 5	49.98	52.37	54.13	52.16	2.08	4.00
Semana 6	52.20	48.62	51.63	50.82	1.92	3.78
Semana 7	49.22	51.15	55.43	51.93	3.18	6.12
Semana 8	50.70	55.39	60.00	55.36	4.65	8.39
Semana 9	54.91	53.97	54.42	54.43	0.47	0.86
Semana 10	49.88	53.97	53.07	52.31	2.15	4.10
Semana 11	49.88	50.19	52.50	50.85	1.43	2.81
Semana 12	51.49	54.02	51.83	52.45	1.37	2.61
Semana 13	52.36	53.21	51.85	52.47	0.69	1.31
Semana 14	49.83	52.31	50.95	51.03	1.24	2.43

Elaborado por: Jorge Enríquez

TRATAMIENTO (T3): proporción 25 g escarabajos /kg gallinaza fresca

Tabla A4. 15. Valores semanales promedio de pH, desviación estándar y coeficiente de variación de cada uno.

Relación SV/ST (por semana)						
TIEMPO	TRATAMIENTO			PROMEDIO	DESV. ESTÁNDAR	COEF. VARIACIÓN
	T3	T3.1	T3.2			
Semana 0	66.90	69.71	75.72	70.78	4.50	6.36
Semana 1	59.89	65.83	63.21	62.98	2.98	4.73
Semana 2	55.77	57.18	54.28	55.74	1.45	2.61
Semana 3	58.21	56.37	56.12	56.90	1.14	2.00
Semana 4	56.55	53.55	56.86	55.66	1.83	3.28
Semana 5	55.08	50.90	56.01	54.00	2.72	5.04
Semana 6	54.38	50.94	44.31	49.88	5.12	10.26
Semana 7	53.12	51.61	50.61	51.78	1.26	2.44
Semana 8	49.06	48.60	49.51	49.05	0.45	0.93
Semana 9	49.73	48.46	47.84	48.68	0.97	1.98
Semana 10	47.63	46.21	49.63	47.82	1.72	3.60
Semana 11	47.00	51.00	48.70	48.90	2.01	4.11
Semana 12	47.78	46.59	50.53	48.30	2.02	4.19
Semana 13	49.39	49.07	48.57	49.01	0.41	0.84
Semana 14	49.90	48.91	49.40	49.41	0.50	1.01

Elaborado por: Jorge Enríquez

TRATAMIENTO (T4): proporción 50 g escarabajos /kg gallinaza fresca**Tabla A4. 16.** Valores semanales promedio de pH, desviación estándar y coeficiente de variación de cada uno.

Relación SV/ST (por semana)						
TIEMPO	TRATAMIENTO			PROMEDIO	DESV. ESTÁNDAR	COEF. VARIACIÓN
	T4	T4.1	T4.2			
Semana 0	66.90	69.71	75.72	70.78	4.50	6.36
Semana 1	59.52	59.60	78.22	65.78	10.77	16.38
Semana 2	58.56	56.83	57.23	57.54	0.90	1.57
Semana 3	56.74	55.93	56.25	56.31	0.41	0.73
Semana 4	56.80	55.26	58.58	56.88	1.67	2.93
Semana 5	56.87	54.63	55.60	55.70	1.12	2.01
Semana 6	53.75	51.00	52.27	52.34	1.38	2.63
Semana 7	53.38	52.39	52.33	52.70	0.59	1.11
Semana 8	51.16	49.55	50.97	50.56	0.88	1.74
Semana 9	49.35	50.26	50.69	50.10	0.68	1.36
Semana 10	48.17	49.97	48.95	49.03	0.90	1.84
Semana 11	50.03	48.97	49.45	49.48	0.53	1.07
Semana 12	48.15	48.55	47.73	48.14	0.41	0.86
Semana 13	48.66	48.24	48.65	48.52	0.24	0.50
Semana 14	48.09	47.35	48.02	47.82	0.41	0.86

Elaborado por: Jorge Enríquez

ANEXO 5
MACRONUTRIENTES PRINCIPALES (NPK

MACRONUTRIENTES GALLINAZA DE JAULA FRESCA

MC-LSAIA-2201-04

	INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA DEPARTAMENTO DE NUTRICION Y CALIDAD LABORATORIO DE SERVICIO DE ANALISIS E INVESTIGACION EN ALIMENTOS <small>Panamericana Sur Km. 1. Cutuglagua Tlts. 2690691-3007134. Fax 3007134 Casilla postal 17-01-340</small>	
---	---	---

INFORME DE ENSAYO No: 19-183

NOMBRE PETICIONARIO:	Sr. Jorge Enriquez	INSTITUCION:	Particular
DIRECCION:	Valle de los Chillos Sangolquí Via Amaguaña	ATENCION:	Sr. Jorge Enriquez
FECHA DE EMISION:	9 de diciembre de 2019	FECHA DE RECEPCION.:	20/11/2019
FECHA DE ANALISIS:	Del 21 de noviembre al 6 de diciembre de 2019	HORA DE RECEPCION:	10H00
		ANALISIS SOLICITADO	NPK

ANÁLISIS	HUMEDAD	N ^{II}	P ^{II}	K ^{II}	IDENTIFICACIÓN
METODO	MO-LSAIA-01.01	MO-LSAIA-01.04	MO-LSAIA-03.01.04	MO-LSAIA-03.01.03	
METODO REF.	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1980	U. FLORIDA 1980	
UNIDAD	%	%	%	%	
19-1302	62,90	5,42	1,42	2,71	Gallinasa fresca G2
19-1303	62,65	5,51	1,47	2,73	Gallinasa fresca G3
19-1304	62,84	5,68	1,33	2,51	Gallinasa fresca G4

Los ensayos marcados con Ω se reportan en base seca.

OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente


Dr. MSc. Ivan Samaniego
 RESPONSABLE TECNICO

RESPONSABLES DEL INFORME




Ing. Bladimir Ortiz
 RESPONSABLE CALIDAD

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo

NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigido únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información.

MACRONUTRIENTES TRATAMIENTO T4 DE 14 SEMANAS

MC-LSAIA-2201-04

	INSTITUTO NACIONAL AUTONOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA DEPARTAMENTO DE NUTRICION Y CALIDAD LABORATORIO DE SERVICIO DE ANALISIS E INVESTIGACION EN ALIMENTOS Panamericana Sur Km. 1 CutuglaguaTifs. 2690691-3007134. Fax 3007134 Casilla postal 17-01-340	

INFORME DE ENSAYO No: 20-049

NOMBRE PETICIONARIO:	Sr. Jorgue Enriquez	INSTITUCION:	Particular
DIRECCION:	Quito	ATENCION:	Sr. Jorge Enriquez
FECHA DE EMISION:	2 de junio 2020	FECHA DE RECEPCION.:	11/3/2020
FECHA DE ANALISIS:	Del 11 de marzo al 11 de mayo de 2020	HORA DE RECEPCION:	16H00
		ANALISIS SOLICITADO	NPK

ANÁLISIS	HUMEDAD	CENIZAS ^Ω	NITRÓGENO ^Ω	P ^Ω	K ^Ω	IDENTIFICACIÓN
MÉTODO	MO-LSAIA-01.01	MO-LSAIA-01.02	MO-LSAIA-01.04	MO-LSAIA-3.01.04	MO-LSAIA-3.01.05	
METODO REF.	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U. FLORIDA 1970	U.FLORIDA 1980	U.FLORIDA 1980	
UNIDAD	%	%	%			
20-0350	11,78	47,18	2,96	1,12	4,14	Gallinaza T4
20-0351	11,96	49,02	3,20	0,69	4,13	Gallinaza T4.1
20-0352	11,82	53,16	2,85	0,56	3,53	Gallinaza T4.2

Los ensayos marcados con Ω se reportan en base seca.

OBSERVACIONES: Muestra entregada por el cliente



Dr. Iván Samaniego, MSc.
RESPONSABLE TÉCNICO

RESPONSABLES DEL INFORME




Ing. Bladimir Ortiz
RESPONSABLE CALIDAD

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.

Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensayo

NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigido únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información.