

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS



**APROVECHAMIENTO DEL ESTIÉRCOL DE GALLINA PARA LA
ELABORACIÓN DE BIOL EN BIODIGESTORES TIPO BATCH
COMO PROPUESTA AL MANEJO DE RESIDUO AVÍCOLA**

Presentado por

FANNY MABEL CARHUANCHO LEÓN

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE

INGENIERA AMBIENTAL

Lima, Perú

2012

INDICE GENERAL

| | | |
|-------|--|----|
| I. | INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II. | REVISIÓN DE LITERATURA..... | 4 |
| 2.1 | Actividad avicola en el Perú..... | 4 |
| 2.1.1 | Contexto..... | 4 |
| 2.1.2 | Generación de residuos en la actividad avicola..... | 8 |
| 2.1.3 | Características de la gallinaza..... | 9 |
| 2.1.4 | Gestión de la gallinaza..... | 14 |
| 2.1.5 | Problemas ambientales..... | 16 |
| 2.1.6 | Marco legal para la gestión de los residuos de granjas..... | 18 |
| 2.2 | LA DIGESTION ANAEROBIA..... | 20 |
| 2.2.1 | Fundamentos..... | 20 |
| 2.2.2 | Fases de la digestión anaerobia..... | 22 |
| 2.2.3 | Variables del sistema..... | 26 |
| 2.2.4 | Tipos de digestores..... | 34 |
| 2.2.5 | Productos finales obtenidos de la digestión anaerobia..... | 35 |
| 2.3 | BIOL..... | 35 |
| 2.3.1 | Definición..... | 36 |
| 2.3.2 | Características..... | 36 |
| 2.3.3 | Aplicaciones del biol..... | 37 |
| 2.4 | EFFECTO DEL BIOL SOBRE LAS PLANTAS..... | 38 |
| 2.4.1 | Requerimientos nutricionales de las plantas..... | 38 |
| 2.4.2 | Hormonas vegetales de la planta..... | 41 |
| 2.4.3 | Fertilización foliar del biol..... | 43 |
| 2.5 | BIOENSAYOS DE TOXICIDAD..... | 45 |
| 2.5.1 | Definición..... | 45 |
| 2.5.2 | Germinación de las semillas..... | 46 |
| 2.5.3 | Metodología de la prueba de bioensayos..... | 49 |
| 2.5.4 | Características del maíz..... | 53 |
| III. | MATERIALES Y MÉTODOS..... | 54 |
| 3.1 | Gallinaza de la granja de aves de la unalm..... | 54 |
| 3.1.1 | Selección de los estiercoles en base al tipo de crianza de aves..... | 54 |
| 3.1.2 | Caracterización de las muestras..... | 55 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 3.2 | Construcción de los prototipos de los biodigestores tipo batch..... | 56 |
| 3.2.1 | Materiales | 56 |
| 3.2.2 | Procedimiento para construcción de los biodigestores..... | 57 |
| 3.2.3 | Variables operacionales..... | 58 |
| 3.3 | Cálculos para la carga del biodigestor | 62 |
| 3.4 | Monitoreo de la variación temporal de la temperatura y ph durante el proceso de digestión anaeróbica | 64 |
| 3.5 | Selección de los mejores tratamientos | 65 |
| 3.5.1 | Caracterización de los mejores tratamientos | 65 |
| 3.6 | Prueba del efecto del biol en semillas de maíz | 66 |
| 3.6.1 | Materiales | 67 |
| 3.6.2 | Parte experimental..... | 68 |
| 3.7 | diseño experimental y análisis estadístico | 69 |
| IV. | RESULTADOS Y DISCUSIONES | 70 |
| 4.1 | Caracterización fisicoquímica y microbiológica del estiércol de gallina | 70 |
| 4.1.1 | Características fisicoquímicas | 70 |
| 4.1.2 | Características microbiológicas..... | 71 |
| 4.2 | Carga del biodigestor | 72 |
| 4.3 | Monitoreo del funcionamiento del biodigestor..... | 74 |
| 4.3.1 | Monitoreo de variación del pH durante el proceso..... | 74 |
| 4.3.2 | Monitoreo de variación de temperatura durante el proceso | 81 |
| 4.4 | Caracterización del biol | 90 |
| 4.4.1 | Análisis microbiológico..... | 90 |
| 4.4.2 | Análisis químico de interés agronómico del biol de gallinaza..... | 91 |
| 4.4.3 | Bioensayo de germinación – test sobrero y ronco..... | 95 |
| V. | CONCLUSIONES..... | 100 |
| VI. | RECOMENDACIONES | 102 |
| VII. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 103 |

INDICE DE CUADRO

| | |
|--|----|
| Cuadro 1: Participación de principales especies pecuarios en el valor de producción del subsector pecuario Periodo: enero - diciembre 2000-2010 (%)..... | 4 |
| Cuadro 2: Estadísticas de venta de gallinas en Lima Metropolitana..... | 8 |
| Cuadro 3: Composición Química de estiércol de animales..... | 10 |
| Cuadro 4: Valor como abono de la gallinaza de acuerdo al tipo de almacenamiento..... | 11 |
| Cuadro 5: Caracterización de los diferentes tipos de Gallinaza..... | 11 |
| Cuadro 6: Contenidos nutricionales en diferentes estiércoles de aves en Rio Grande de Soul (RS- Brazil)..... | 12 |
| Cuadro 7: Contenido de microorganismos en la gallinaza fresca..... | 13 |
| Cuadro 8: Análisis Microbiológico de la pollinaza..... | 13 |
| Cuadro 9: Análisis proximal del estiércol de vacuno, cuy y gallina..... | 23 |
| Cuadro 10: Comparación de las propiedades de la fase acidogénica y metanogénica..... | 26 |
| Cuadro 11: Rango de temperaturas de acuerdo al tipo de bacterias..... | 27 |
| Cuadro 12: Sustancias inhibidores del proceso de digestión anaerobia..... | 31 |
| Cuadro 13: Tipo de biodigestores..... | 34 |
| Cuadro 14: Composición bioquímica del biol..... | 41 |
| Cuadro 15: Velocidad de absorción foliar..... | 44 |
| Cuadro 16: Etapas de germinación de semillas..... | 46 |
| Cuadro 17: Condiciones recomendadas para las pruebas de toxicidad aguda..... | 50 |
| Cuadro 18: Clasificación botánica del maíz..... | 53 |
| Cuadro 19: Caracterización de estiércol de gallina en piso y jaula..... | 55 |
| Cuadro 20: Materiales y equipos de construcción..... | 56 |
| Cuadro 21: Medición de las variables operacionales..... | 59 |
| Cuadro 22: Métodos empleados en el análisis de la materia orgánica..... | 61 |
| Cuadro 23: Análisis fisicoquímico de las muestras de Gallinaza..... | 70 |
| Cuadro 24: Análisis microbiológico de muestras de Gallinaza..... | 71 |
| Cuadro 25: Límites máximos permitidos de contenidos de coliformes fecales en productos orgánicos..... | 72 |
| Cuadro 26: Relación C/N y % solidos totales..... | 73 |
| Cuadro 27: Carga de los biodigestores..... | 73 |
| Cuadro 28: Análisis microbiológico de biol de los tres tipos de gallinaza..... | 90 |
| Cuadro 29: Análisis micro y macronutrientes del biol de jaula..... | 92 |

| | |
|---|----|
| Cuadro 30: Análisis macronutrientes del biol de diferentes insumos | 94 |
| Cuadro 31: Condiciones fisicoquímicas iniciales en las diferentes concentraciones dosis respuesta de los bioles. | 95 |
| Cuadro 32: Índice de germinación (IG) de semillas de maíz. | 98 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Tasa de crecimiento de la producción de carne de ave (1951-1999)..... | 6 |
| Figura 2: Producción de aves en pie (Miles de TN): 1992 – 2011..... | 7 |
| Figura 3: Impacto ambiental en granjas avícolas | 16 |
| Figura 4: Esquema de reacciones de la digestión anaerobia de materiales poliméricos | 21 |
| Figura 5: Dependencia de la constante de crecimiento de la temperatura..... | 28 |
| Figura 6: Funciones del nitrógeno en las plantas | 38 |
| Figura 7: Funciones del fosforo en la planta | 39 |
| Figura 8: Funciones del potasio en la planta | 39 |
| Figura 9: Eficiencia optima del Nitrógeno | 40 |
| Figura 10: Germinación de la semilla de maíz | 45 |
| Figura 11: Germinación Epigea..... | 47 |
| Figura 12: Germinación hipogea | 48 |
| Figura 13: Partes de una plántula normal de maíz germinada..... | 51 |
| Figura 14: Plántulas anormales de maíz y semillas muertas | 51 |
| Figura 15: Biodigestor tipo Bach..... | 57 |
| Figura 16: Esquema del biodigestor tipo batch | 58 |
| Figura 17: Variación de pH de los tratamientos con Gallinaza..... | 75 |
| Figura 18: Variación de pH de los tratamientos de gallinaza de jaula | 76 |
| Figura 19: Análisis de la regresión línea para la variación de pH de la gallinaza de jaula | 77 |
| Figura 20: Variación de pH de los tratamientos de gallinaza de piso | 77 |
| Figura 21: Análisis de la regresión línea para la variación de pH de la gallinaza de piso | 78 |
| Figura 22: Variación de pH de los tratamientos de mezcla de gallinazas | 79 |
| Figura 23: Análisis de la regresión línea para la variación de pH de mezcla de gallinazas ... | 79 |
| Figura 24: Variación de temperatura (°C) líquida de los tratamientos con gallinaza | 82 |
| Figura 25: Variación de temperatura (°C) solida de los tratamientos con gallinaza. | 83 |
| Figura 26: Variación de temperatura (°C) de la fase líquida y sólida en los tratamientos con gallinaza de jaula | 84 |
| Figura 27: Análisis de regresión lineal del tratamiento de gallinaza de jaula | 85 |
| Figura 28: Variación de temperatura (°C) de la fase líquida y sólida en los tratamientos con gallinaza de piso. | 86 |
| Figura 29: Análisis de regresión lineal del tratamiento de gallinaza de piso | 87 |

| | |
|---|----|
| Figura 30: Variación de temperatura (°C) de la fase líquida y sólida en los tratamientos de la mezcla de gallinazas | 88 |
| Figura 31: Análisis de regresión lineal del tratamiento de mezcla de gallinazas. | 89 |
| Figura 32: Porcentaje de semillas germinadas de los tres tipos de biol | 96 |
| Figura 33: Porcentaje de crecimiento de la radícula por efecto de la aplicación de los tres tipos de biol. | 97 |
| Figura 34: % Índice de germinación de los tres tipos de biol..... | 99 |

INDICE DE ANEXOS

| | |
|---|-----|
| ANEXO 1: Calculo de relación carbono/ nitrógeno de los estiércoles frescos de gallinaza | 108 |
| ANEXO 2: Cuadro de datos de evaluación de pH | 111 |
| ANEXO 3: Cuadro de datos de evaluación de temperatura | 113 |
| ANEXO 4: Análisis de varianza de la variable pH | 117 |
| ANEXO 5: Análisis de varianza de la variable temperatura | 119 |
| ANEXO 6: Cuadro de datos de medición de las radículas de las plántulas de maíz..... | 122 |
| ANEXO 7: Pruebas estadísticas para la prueba de germinación con semillas de maíz | 125 |
| ANEXO 8: Reporte de fotografías | 128 |
| ANEXO 9: Reportes análisis de laboratorio..... | 133 |

RESUMEN

El presente trabajo de investigación evaluó la calidad de biol obtenido del proceso de digestión del estiércol de gallina, llamado gallinaza, de dos tipos de crianza: gallinaza en piso y jaula, además mezcla de ambas, en biodigestores tipo batch.

A lo largo del proceso de digestión se evaluaron dos parámetros fisicoquímicos; pH y temperatura. En los quince primeros días se observó un descenso de pH, luego se estabilizó a lo largo del proceso de digestión anaerobia en un medio ácido. La temperatura varió en relación del pH, encontrándose en la etapa mesofílica excepto los tratamientos de mezcla de gallinazas.

Este proceso redujo en los tres tratamientos la cantidad de coliformes fecales y totales, los cuales cumplen con los estándares para calidad de agua de riego y como fertilizante según el MINAM y EPA respectivamente. Sin ningún pre tratamiento de la gallinaza a 90 días se logra reducir el contenido de coliformes fecales y totales. Los bioles obtenidos presentan una elevada cantidad de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, por lo que pueden ser usados como fertilizantes orgánicos.

Por último se realizó la prueba de toxicidad para evaluar la calidad de biol, se midió el índice de germinación (IG) y la longitud de radícula de semillas de maíz. Siete dosis de estos materiales (biol/agua) fueron preparadas: 0.1/100, 1/100, 5/100, 7.5/100, 8.8/100, 10/100 y 50/100. Un control sin adición también fue incluido. Los resultados indicaron que el IG, así como la longitud de radícula de la semilla de maíz no se afectó significativamente cuando la dosis varió entre 0.1/100 y 1/100 de los tres tipos de bioles.

Al finalizar la investigación se concluye que el biol obtenido de la gallinaza de piso presenta mejor calidad en nutrientes sin efecto de toxicidad en mínimas concentraciones 0.1/100 y 1/100 de biol para las plantas, considerándose un biol fitonutriente.

Key Words: gallinaza, digestión anaerobia, biol, índice de germinación, fitonutriente.

SUMMARY

The present research study evaluated the quality of biol obtained from process digestion of hen manure of two types breeding: hen in cage and hen in floor and the mixture of both, in batch digesters.

During the digestion process two physicochemical parameters were evaluated, pH and temperature. In the first fifteen days was observed a decrease of pH, then it stabilized along the anaerobic digestion process in an acidic medium. The temperature varied pH ratio, being in the mesophilic stage treatments.

This process in the three treatments reduced the amount of total and fecal coliforms, which meet the quality standards for irrigation water and fertilizer by Ministry of Environment and EPA respectively. Without any pre-treatment of the manure to 90 days was possible to reduce the content of total and fecal coliforms. The bioles obtained have a high amount of nitrogen, phosphorous, potassium, calcium and magnesium, which may be used as organic fertilizer.

Finally, toxicity test was performed to evaluate the biol quality, it measured the germination index (GI) and radicle length of corn seeds. Seven doses of these materials (biol / water) were prepared: 0.1/100, 1/100, 5/100, 7.5/100, 8.8/100, 10/100 and 50/100. A control without addition was also included. The results indicated that the IG and radicle length not significantly affected when the dose varied between 0.1/100 and 1/100 of the three types of bioles.

After the investigation was concluded that the manure obtained biol floor presents better nutrient void minimal toxicity in concentrations 0.1/100 and 1/100 of biol for plants, considered a phytonutrient biol.

Key Words: hen manure, anaerobic digestion, biol, germination index, phytonutrient.

I. INTRODUCCIÓN

En nuestro país la avicultura es una de las actividades económicas con mayor importancia porque satisface necesidades proteicas de la población. En la mayoría de los países, el consumo de carne de pollo aumenta continuamente lo que equivale al incremento de la producción avícola. Este incremento origina grandes volúmenes de estiércol depositados en el suelo.

Estos residuos poseen altos contenidos de nutrientes y material orgánico por lo cual tienen alta demanda como abono para la agricultura sin embargo genera contaminación del suelo por las cantidades de sales del estiércol; por emisiones de amoníaco al aire y al agua subterránea por la lixiviación de nitratos. Además emiten olores desagradables que propician la proliferación de vectores y microorganismos patógenos. Estas implicancias sobre el ambiente exigen tener un manejo adecuado de estos residuos.

El estiércol de gallina (gallinaza) generalmente tiene un contenido mayor de materia seca y NPK (6.11% de nitrógeno, 5.21% de fósforo y 3.20% de potasio) comparativamente con los estiércoles de cerdo y vaca (Peralta, 2010). Por lo tanto se estima que el biol de la fermentación de gallinaza, poseerá mayor contenido de nutrientes principales (NPK) y secundarios para el crecimiento de los cultivos.

Existen normas que reglamentan el manejo y control de la gallinaza y pollinaza. En países latinoamericanos como Venezuela (Resolución 46 “Normas sobre el estiércol de gallina”, 1988), Colombia (Resolución 189 “Sanitización de gallinaza o pollinaza”, 2005) y Costa Rica (Decreto N° 29145-MAG-S-MINAE, 1996) manejan sus residuos avícolas basados en normativas legales y técnicas que aseguran su adecuada disposición.

En el Perú, en el artículo N°19 del Capítulo V del Decreto Supremo N°010 -2003 - AG menciona que la gallinaza debe ser rociada con cal viva y posteriormente incinerada o enterrada, supervisada por el Servicio Nacional de Sanidad Agraria para evitar la presencia de patógenos. Además el reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos N° 27314, (Decreto Supremo N° 057-2004-PCM) obliga a todos los productores agropecuarios a

realizar el manejo de sus residuos, sin embargo, la mayor parte de los productores los entierran o venden a empresas productoras de alimento de animales, contraviniendo lo dispuesto legalmente. Estas normas dan poco énfasis legal en el manejo de residuos avícolas para la agricultura, las cuales establecen en forma general los procedimientos y estrategias para tratar estos residuos. Sin embargo no se cuenta con reglamentación que detalle el tratamiento.

Actualmente hay tecnologías para tratar los residuos agropecuarios (estiércoles de animales) como compostaje, lagunas de oxidación y biodigestores anaerobios. Esta última tecnología convierte los residuos en productos energéticos como el biogás y fertilizantes orgánicos como el biosol y biol, siendo una alternativa viable económica y ambiental al manejo de estos residuos. En el Perú se conocen dos tipos de experiencias sobre el manejo de gallinaza en la granjas de aves de la Empresa San Fernando que utiliza la digestión aerobia de la gallinaza obteniendo un producto llamado compost, materia que es de uso extendido en la agricultura de exportación y para el cultivo de la papa en la sierra; y el Fundo la Calera que utiliza el proceso de digestión anaerobia (biodigestores), para obtener dos productos: biogás para generar electricidad y biol para venta como fertilizante líquido orgánico.

La fermentación anaeróbica convierte el estiércol de gallina en un gas combustible limpio y eficiente (biogás) con un alto contenido de metano y un efluente (biol) con alta concentración de nutrientes cuyo uso es como fertilizante líquido orgánico debido a su composición de nutrientes esencial para la planta. Este efluente es una alternativa al uso intensivo de agroquímicos en cultivos hortícolas. Otra ventaja es la eliminación de agentes patógenos. Por lo tanto, el tratamiento del estiércol de gallina mediante la fermentación anaeróbica se convertiría en una alternativa económica y ambiental porque tendría valor agregado a la gestión de manejo de residuos sólidos para los productores avícolas.

Las pocas referencias sobre estas excretas puede deberse a las dificultades en la digestión por la diversificación en el tipo de residuo que se obtiene de la crianza y alimentación de las aves. Estrada (2005) menciona que hay varios tipos de estiércol de gallina de acuerdo a la crianza: estiércol de crianza en piso y en jaula. La diferenciación en la composición

física, química y microbiológica determinará el tipo de tratamiento, la composición y calidad de los productos.

Por tal razón, esta investigación propuso el proceso de digestión anaeróbica en biodigestores tipo batch, de una sola carga, y el monitoreo de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de tres sustratos: estiércol de gallinas en piso, en jaula y la mezcla de ambas para determinar la calidad del efluente. Además se evaluará su aplicación mediante la realización de bioensayos de germinación en semillas de maíz.

El objetivo general de la investigación fue evaluar la calidad de biol obtenido utilizando como sustrato el estiércol de gallina de la Granja de Aves de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) en biodigestores tipo batch. Para ello se consideró los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los tres sustratos de gallinaza.
- Comparar la composición de nutrientes (NPK y micronutrientes) de los diferentes tipos de bioles obtenidos.
- Analizar la presencia de coliformes fecales de los diferentes tipos de bioles obtenidos.
- Evaluar la calidad agronómica del biol de los diferentes tipos de bioles mediante bioensayos de germinación con semillas de maíz (Test de Sobrero y Ronco,2004).

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ACTIVIDAD AVÍCOLA EN EL PERÚ

2.1.1 CONTEXTO

Una de las actividades económicas del Perú que ha experimentado un rápido crecimiento y desarrollo es la actividad avícola, incluye la producción de carne de aves y la producción de huevos para consumo. Actualmente se constituye la actividad más importante pues ha experimentado un incremento en la producción del subsector pecuario a comparación de los subsectores ovino, caprino, porcino, vacuno, llama y alpaca; además tiene alta incidencia en el desarrollo de otras actividades agrícolas o industriales conexas de gran impacto económico para el país. En el Cuadro 1 se observa que la producción de la actividad avícola es aproximadamente el 50% del subsector pecuario total.

Cuadro 1: Participación de principales especies pecuarios en el valor de producción del subsector pecuario Periodo: enero - diciembre 2000-2010 (%)

| Especies | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Avícola | 45.6 | 45.4 | 46.5 | 46.8 | 45.6 | 47.1 | 48.3 | 49.4 | 51.9 | 53.4 | 54.2 |
| Ovino | 7.5 | 7.5 | 7.1 | 7.0 | 7.1 | 6.6 | 6.2 | 5.9 | 5.4 | 5.1 | 5.0 |
| Porcino | 8.3 | 8.3 | 7.9 | 7.7 | 7.8 | 7.7 | 7.5 | 7.5 | 7.1 | 6.7 | 6.5 |
| Vacuno | 22.2 | 21.9 | 21.5 | 21.5 | 22.0 | 21.5 | 21.1 | 20.1 | 18.8 | 18.0 | 18.0 |
| Caprino | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 1.1 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 0.8 | 0.7 | 0.7 |
| Alpaca | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.2 | 1.3 | 1.2 | 1.1 | 1.1 | 1.0 | 1.1 | 1.0 |
| Llama | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.3 |

FUENTE: Direcciones Regionales Agrarias-Dirección de Información Agraria. MINAG 2010

El crecimiento de la industria avícola se inicia a partir de los años 60' por su desarrollo especializado y diferenciado para cada uno de sus procesos, años anteriores esta actividad

era realizada en forma marginal y básicamente para autoconsumo. En los años 70 por el periodo de veda al consumo de carnes rojas, la producción de aves incremento pero a mediados de esa década se produjo una gran crisis avícola por la devaluación del 50%. En este tiempo se generaron las primeras integraciones verticales y horizontales para su supervivencia en donde las empresas avícolas, productoras de alimentos balanceados, empresas de comercialización y distribución se agrupan a fin de manejar y controlar las fases productivas de todo el proceso. (MINAG, 2011)

En 1980 el consumo avícola se incrementa drásticamente (21, 27 y 12% para el período 80/82) por los mejores niveles de eficiencia productiva y mayor capacidad adquisitiva. En 1990 los indicadores productivos logrados son comparables con los de países más tecnificados, sin embargo nuestro sistema de comercialización y distribución era muy atrasado. A inicios de esa década, se comienza a aplicar el impuesto del IGV a los productos avícolas, aumentando los precios con la consecuente drástica reducción del consumo de carne de pollo. A fines de la década se alcanza una producción de alto rendimiento así como de procesos tecnológicos y productivos mejorados. (MINAG, 2010).

En la actualidad, el sistema productivo de esta actividad es intensivo, organizándose empresarialmente en grandes integraciones que asocian a empresas desde los procesos de incubación, producción de reproductores, alimentos balanceados, empresas comerciales y abastecedoras de insumos. Estas han logrado posesionarse del mercado nacional y efectuar los primeros esfuerzos para la exportación, tales como Avícolas San Fernando S.A., Avinka, El Rocío S.A. y Avícola Redondos entre otras. (MINAG, 2010).

El incremento de la avicultura intensiva se debe al incremento masivo del consumo de carnes y huevos. En la Figura 1 se observa que el consumo de carne de ave en los últimos años ha tenido un crecimiento continuo.



Figura 1: Tasa de crecimiento de la producción de carne de ave (1951-1999).

FUENTE: Organización Internacional Agropecuaria. Ministerio de Agricultura, Perú, citado por Asociación Peruana de Avicultura (2010)

El crecimiento del consumo de carne equivale al incremento de la producción avícola. (Figura 2). Según el Informe Técnico sobre Producción Nacional del mes de Agosto del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2011), la producción de ave aumentó en 2.37%, reflejándose en los departamentos de Ica, La Libertad y Arequipa debido al buen manejo técnico en relación a nutrición y sanidad animal en el proceso de engorde en las granjas avícolas; además que la costa peruana ofrece uno de los mejores climas del mundo para la crianza de aves, es por lo cual que la avicultura se desarrolla mayormente en la costa que aprovecha terrenos improductivos incorporándolos en la actividad económica.

La población a nivel nacional para el año 2010 es de 130 779 047 aves (MINAG, 2010), la población de aves incluye gallinas, pollos, codornices, patos y pavos.

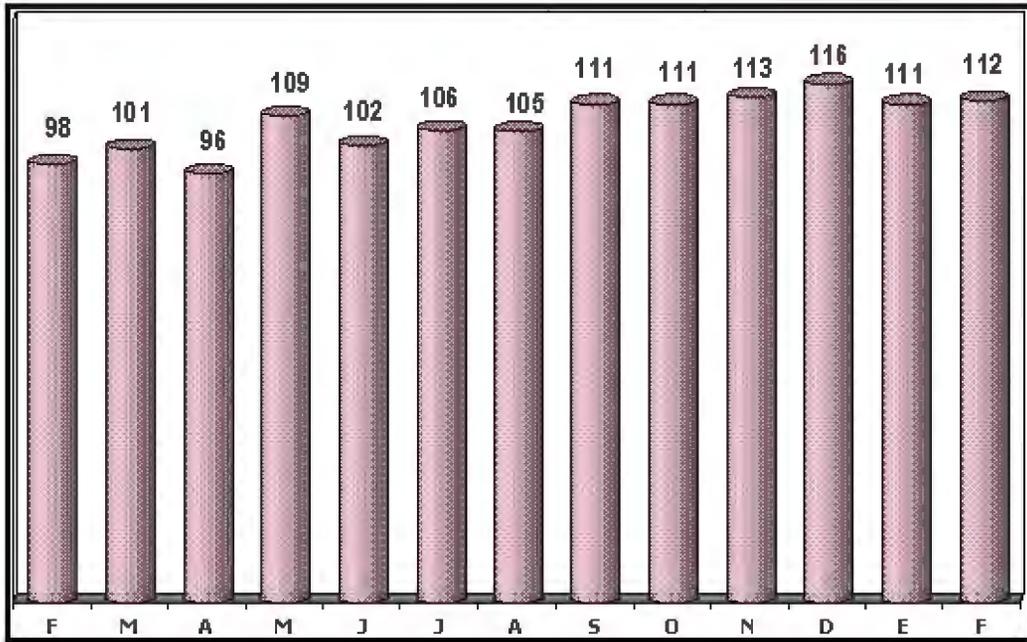


Figura 2: Producción de aves en pie (Miles de TN): 1992 – 2011.

FUENTE: Ministerio de Agricultura, Perú. 2010

Los cuadros estadísticos de la Asociación Peruana de Avicultura (APA, 2010) la producción de gallina negra, colorada y reproductora del mes de agosto 2009 hasta agosto 2010 (Cuadro 2) aproximadamente fue de 13 millones de gallinas.

Si calculamos la cantidad de residuos a nivel nacional que se produce por la producción de aves obtendríamos 0.8 mega toneladas/año de residuos orgánicos (estiércol), considerando que cada gallina produce entre 150 g de estiércol/día (García y Lon, 2007).

Cuadro 2: Estadísticas de venta de gallinas en Lima Metropolitana

| AÑO | TIPOS DE GALLINA | | |
|--------|------------------|----------|--------------|
| | NEGRA | COLORADA | REPRODUCTORA |
| ago-09 | 142900 | 450240 | 380380 |
| sep-09 | 179600 | 383900 | 344550 |
| oct-09 | 224500 | 452505 | 351900 |
| nov-09 | 219600 | 438750 | 350000 |
| dic-09 | 192700 | 406620 | 336978 |
| ene-10 | 186500 | 402220 | 295565 |
| feb-10 | 187800 | 355410 | 298895 |
| mar-10 | 216500 | 444280 | 331150 |
| abr-10 | 210500 | 424280 | 332580 |
| may-10 | 253500 | 464580 | 373950 |
| jun-10 | 241500 | 544250 | 353000 |
| jul-10 | 276000 | 458300 | 365350 |
| ago-10 | 292700 | 496600 | 334450 |

FUENTE: MINAG-DGIA citado por APA (2010)

2.1.2 GENERACION DE RESIDUOS EN LA ACTIVIDAD AVICOLA

Los residuos generados en la actividad avícola según el International Resources Group y el Centro Nacional de Producción más Limpia de Honduras (2009) son las siguientes:

Residuos sólidos orgánicos

El residuo sólido más importante generado por esta actividad es la gallinaza y pollinaza.

- La Gallinaza es la mezcla de heces y orina que se obtiene de la gallina enjaulado o de piso (Estrada, 2005); a esta se une la porción no digerible de alimentos, microorganismos de la biota intestinal, plumas, huevos rotos.

- La pollinaza es la mezcla de heces y orina de pollos de engorde con cascarilla de arroz (Henríquez *et al*, 2006).

Residuos sólidos domésticos

Además de los ya citados, se generan otros que pueden ser orgánicos o no orgánicos, como: cartón, vidrio, materiales plásticos, bolsas, papel, y otros similares.

Residuos peligrosos

Se consideran residuos peligrosos los provenientes de fármacos y de procesos de vacunación: empaques, recipientes e insumos vencidos o dañados.

De este grupo de residuos se analizó en esta investigación la gallinaza porque esta básicamente formado por materiales hidrocarbonatos, compuestos nitrogenados y una gran población microbiana.

2.1.3 CARACTERISTICAS DE LA GALLINAZA

2.1.3.1 CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS

El estiércol de diferentes animales es la principal fuente de abono orgánico y su apropiado manejo es una excelente alternativa para ofrecer nutrientes a las plantas y a la vez mejorar las características físicas y químicas del suelo. Solo la quinta parte del alimento que consume es utilizada para su producción, el resto es eliminado en el estiércol y la orina (Tapia y Fries, 2007). Respecto a la gallina, la cantidad del estiércol que puede producir en un día depende de los factores de tipo de alimentación, tipo crianza y especie. Según García y Lon (2007) consideran que cada gallina produce entre 150 g/día aproximadamente.

La variación en la composición del estiércol depende de la especie animal, de su alimentación, contenido de materia seca y el manejo de su estiércol. En el Cuadro 3 se aprecia la composición química del estiércol fresco y seco de diferentes animales.

Cuadro 3: Composición Química de estiércol de animales

| Animal | Materia seca % | %N | %P₂O₅ | %K₂O | %CaO | %MgO | %SO₄⁼ |
|---------------------|-----------------------|-------------|------------------------------------|------------------------|-------------|-------------|------------------------------------|
| Vacunos(f) | 6 | 0.29 | 0.17 | 0.10 | 0.35 | 0.13 | 0.04 |
| Vacunos (s) | 16 | 0.58 | 0.01 | 0.49 | 0.01 | 0.04 | 0.13 |
| Ovejas (f) | 13 | 0.55 | 0.01 | 0.15 | 0.46 | 0.15 | 0.16 |
| Ovejas (s) | 35 | 1.95 | 0.31 | 1.26 | 1.16 | 0.34 | 0.34 |
| Caballos (s) | 24 | 1.55 | 0.35 | 1.50 | 0.45 | 0.24 | 0.06 |
| Caballos (f) | 10 | 0.55 | 0.01 | 0.35 | 0.15 | 0.12 | 0.02 |
| Gallinas (s) | 47 | 6.11 | 5.21 | 3.20 | s.i. | s.i. | s.i. (f) |

(f) fresco; (s) seco; s.i.(sin información)

FUENTE: SEPAR, 2004 citado por Tapia *et al.*2007

Según el cuadro de Tapia et al. (2007), en general se puede considerar que el estiércol contiene: 0,5 por ciento de nitrógeno, 0,25 por ciento de fósforo y 0,5 de potasio, ósea una tonelada de estiércol ofrece en promedio 5 kg de nitrógeno, 2,5 kg de fósforo y 5 kg de potasio pero al estar expuesta al sol y la intemperie, el estiércol pierde en general su valor, respecto al estiércol de gallina, esta presenta mayor cantidad de materia seca en comparación de los otros tipos de estiércol además la cantidad de nutrientes (Nitrógeno, fosforo y potasio) es mayor que el resto por lo cual se considera un excelente abono que aportaría mayor cantidad de nutrientes para la planta.

Por otro lado la composición y calidad de estiércol depende también del tipo de alimentación, crianza, la edad del ave y tiempo de permanencia (Estrada, 2005), su composición cambia de acuerdo al momento de recolección y al tipo de almacenamiento como se observa en el Cuadro 4.

Cuadro 4: Valor como abono de la gallinaza de acuerdo al 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 foso profundo | 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 y col. 1989 citado por Estrada. 2005.

La gallinaza seca posee una mayor concentración de nutrientes, esto depende al tiempo y rapidez del secado pues si la exposición al aire es en un periodo largo se tiene el riesgo de perder nutrientes por efectos de lixiviación o volatilización perjudicando el valor como abono de este estiércol y contaminando el medio ambiente. El tipo de alimentación de las aves y tipo de crianza, la composición física varía tal como se aprecia en el Cuadro 5.

Cuadro 5: Caracterización de los diferentes tipos de Gallinaza

| Parámetros | Gallinaza en jaula | Gallinaza en piso | Pollinaza |
|--|---------------------------|--------------------------|------------------|
| Ph | 9.0 | 8.0 | 9.50±0.2 |
| Conductividad (mS/cm) | 6.9 | 1.6 | 4.1±0.1 |
| Humedad (%) | 57.8 | 34.8 | 25.8±0.2 |
| Cenizas (%) | 23.7 | 14 | 39±3 |
| Potasio (K ₂ O%) | 1.9 | 0.89 | 2.1±0.1 |
| Carbono orgánico (%) | 19.8 | 24.4 | 23±5 |
| Materia orgánica (%) | 34.1 | 42.1 | 39.6±8 |
| Nitrógeno (%) | 3.2 | 2.02 | 2.3±0.1 |
| Relación C/N | 6.2 | 12.1 | 10.0 |
| Fósforo (P ₂ O ₅) | 7.39 | 3.6 | 4.6±0.2 |
| C.I.C. (meq/100 g de muestra) | 58.2 | 77 | - |
| C.I.C. (meq/100 g MO) | 226 | 138 | 125.0 |

Fuente: Peláez et al, 1999, citado por Estrada (2005)

La gallinaza en jaula tiene una composición húmeda porque el estiércol no está mezclado con cascarilla de arroz, aserrín, paja u otros componentes de la cama, a diferencia de la composición de la gallinaza en piso y pollinaza. La mezcla estiércol con la cama eleva la composición de carbono, por tal razón la relación C/N es menor en la gallinaza en jaula que los otros dos tipos.

Respecto al aporte de macro y micronutrientes en diferentes concentraciones depende de su origen (Restrepo, 2001). Con fines comparativos, en el Cuadro 6 se observa la cantidad de nutrientes que tiene cada tipo de estiércol, siendo las gallinas ponedoras sin cama la que tienen mayor contenido de micronutrientes.

Cuadro 6: Contenidos nutricionales en diferentes estiércoles de aves en Rio Grande de Soul (RS- Brazil)

| Tipo de estiércol | Micronutrientes Totales (%) | | | | | Micronutrientes (ppm) | | | H ₂ O (%) |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------|------|------|-----------------------|-----|-----|----------------------|
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | Ca | Mg | Fe | Mn | Zn | |
| Gallinaza | | | | | | | | | |
| Gallinas ponedoras sin cama | 2.78 | 5.40 | 8.68 | 6.71 | 0.61 | 2300 | 837 | 590 | 58 |
| Gallinas ponedoras con cama | 2.40 | 4.29 | 4.77 | 5.40 | 0.49 | 11300 | 354 | 170 | 19 |

FUENTE: Restrepo (2001)

Si bien, las excretas contienen un valor nutritivo de NPK beneficiosa para el crecimiento de cultivos, sin embargo estas también poseen altas concentraciones de coliformes fecales que producen enfermedades infecciosas para los humanos. Para eliminar estos agentes, es necesario darles un tratamiento adecuado. McCaskey (1990) citado por Soria et al (2000), la biodigestión anaerobia es una alternativa de control que convierte las excretas que contienen microorganismos patógenos en residuos sólidos sin riesgo de transmisión de enfermedades.

2.1.3.2 CARACTERISTICAS MICROBIOLOGICAS

Según García *et al* (2005), en su estudio de la dinámica microbiana de la gallinaza, analizaron los contenidos de microorganismos en el estiércol seco, los resultados se observa en el Cuadro 7.

Cuadro 7: Contenido de microorganismos en la gallinaza fresca

| Indicadores | Bacterias viables _r ufc/g | Lactobacilo ufc/g | Levaduras ufc/g | Coliformes ufc/g | pH | % MS |
|-------------|--------------------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------|------|-------|
| Gallinaza | 1.19 x 10 ¹⁰ | 1.81 x 10 ⁹ | 9.6 x 10 ⁷ | 5.67 x 10 ⁹ | 7.80 | 21.78 |

FUENTE: García, *et al.* (2005)

El aislamiento y conteo de los lactobacilos, levaduras y coliformes se realizó en los medios agar rogosa, agar maltosa Sabouraud y agar violeta bilis. La técnica de cultivo fue en tubos roll sin atmósfera de CO₂. (García, et al. 2005)

Los estudios de Calderón *et al* (2006), donde la pollinaza fue sometida a un riguroso examen microbiológico antes de ser utilizada como suplemento obtuvieron los siguientes resultados que se aprecia en el cuadro 8.

Cuadro 8: Análisis Microbiológico de la pollinaza

| Organismos presentes en la Pollinaza. | Fresca | Seca al aire |
|---|-----------------------|-----------------------|
| Bacterias totales (ufc . g-1 pollinaza)* | 6.8 x 10 ⁶ | 9.8 x 10 ⁴ |
| Hongos totales (uft . g-1 pollinaza)** | 2.6 x 10 ⁴ | 4.6 x 10 ³ |
| Coliformes totales (ufc . g-1 pollinaza)* | 3.2 x 10 ² | 87 |
| Salmonellas (ufc . g-1 pollinaza) | (-) | (-) |

*ufc. g-1 unidades formadoras de colonias por gramo de pollinaza muestreada.

**uft. g-1 unidades formadoras de talos por gramo de pollinaza muestreada.

(-) negativo la presencia de Salmonella en 25g de muestra de pollinaza.

FUENTE: Calderón *et al.* 2006

Comparando los Cuadros 7 y 8, se concluye que la gallinaza presenta mayor cantidad de microorganismos que la pollinaza pero la gallinaza tiene mayor contenido de nutrientes que son beneficiosos para las plantas, sin embargo la cantidad de microorganismos es perjudicial.

Además, García, et al (2005) concluyen que el crecimiento de los lactobacilos no se inhibe al ser secado al aire libre, y que el sistema más adecuado para este tipo de fermentación, según los resultados, fue la fermentación estática.

Otros estudios como Sahlin (1999) y Terzich *et al* (2000) citado por García, et al (2005), encontraron una fuerte relación entre el pH y el crecimiento de estos microorganismos, así como, con la disminución de *Escherichiacoli*. Si el pH asciende el número de bacterias totales, bacterias Gram+, Gram-, estafilococos y *E. coli* tendían a incrementarse.

2.1.4 GESTION DE LA GALLINAZA

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

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

Uso como complemento de las dietas de rumiantes (García et al, 2007). Numerosos estudios avalan la ventaja de la gallinaza como complemento en las dietas de rumiantes, tales como aumentar el consumo del heno, la digestibilidad de la materia seca del rastrojo y

las concentraciones de nitrógeno amoniacal en el líquido rumial, además mejora la eficiencia de la reproductibilidad de las vacas.

Uso como combustión completa (Murillo, 1999). La gallinaza tiene un contenido calórico neto de 13.5 GJ/tonelada cuya ventaja es el contenido de humedad que le hace un combustible de uso directo. El primer intento fue en 1986, una empresa familiar dedicada a la crianza de aves y producción de ornamentales en invernaderos generaba energía eléctrica para los galpones avícolas e invernadero a partir de estos residuos. El segundo intento fue de mayor escala en 1992, la empresa Fibropower de Reino Unido construyó y operó la primera planta comercial de energía eléctrica utilizando como único combustible la gallinaza; generando 12.7 MW de electricidad y consume 130 000 toneladas de gallinaza al año. La segunda planta fue Lincolnshire que generaba 13.5 MW con un consumo de 180000 toneladas de gallinaza por año. En 1998, la tercera planta tiene una capacidad de generación de 38.5 MW.

Uso como fertilizante orgánico. Por el contenido en materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio de las gallinazas es recomendada como abono orgánico o como fuente de materia prima para la elaboración de compost convirtiéndolas en un potencial sustituto de los fertilizantes químicos. El aporte directo de los residuos avícolas en los suelos provoca la lenta liberación de sus nutrientes, por lo cual muchos productores someten estos residuales a un proceso de compostaje o digestión anaerobia cuyo objetivo es incrementar la disponibilidad de los nutrientes vegetales y la calidad de la materia orgánica. Esto favorece al suelo y al rendimiento de los cultivos

2.1.5 PROBLEMAS AMBIENTALES

La exposición del estiércol de aves tiene impactos negativos en el suelo, aire, agua superficial y subterránea como se observa en la Figura 3 el esquema del impacto ambiental de las granjas avícolas.

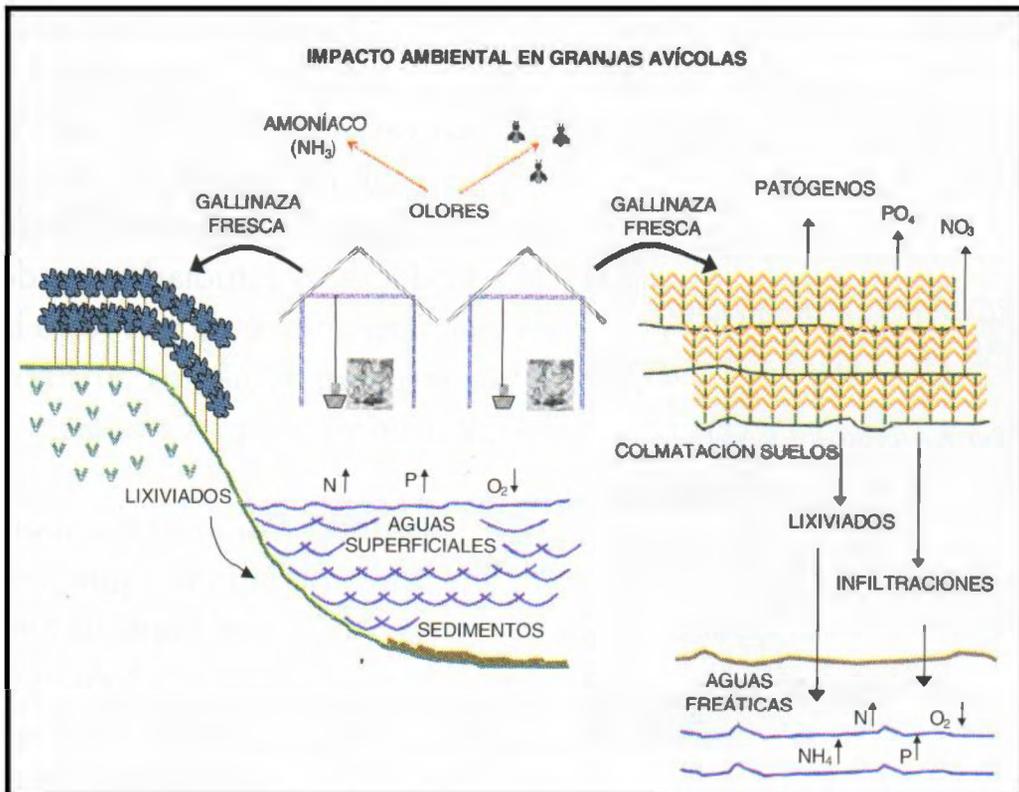


Figura 3: Impacto ambiental en granjas avícolas

FUENTE: Rivera *et al.* (2000) citado por García *et al.* (2000)

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

- d. Impacto económico: los costos para solucionar los problemas derivados de la contaminación del suelo y agua, y las enfermedades que afectan a las aves.

El estudio de Méndez *et al* (2009) sobre la estimación del potencial de contaminación de granjas avícolas en los estados de Yucatán, concluyeron que si los desechos sólido (estiércol, aves muertas o huevos que no eclosionan) son depositados directamente al suelo, estos producen una alta contaminación orgánica en el suelo por su descomposición amoniacal acumulado a tal grado que en vez de ser un abono, mata cualquier forma de vida vegetal. Además, percolará a través del suelo cuando sea expuesto al agua y se filtrará a las capas de agua subterránea, donde el nitrógeno se oxidará y permanecerá en forma de nitratos. Otro efecto es la contaminación de mantos acuíferos debido a la presencia de sólidos suspendidos, coliformes y nitrógeno entre otros, sobre todo en suelo permeable.

Según Pacheco y Cabrera (1997), el exceso de nutrientes en el agua favorece el crecimiento de las algas desencadenando con ello el agotamiento del O₂ disuelto, favoreciendo la proliferación de larvas de insectos nocivos. Además, el amonio es tóxico para los peces y los invertebrados acuáticos. La contaminación del aire por la exposición de estiércol de gallina se produce por la emisión de gases durante su degradación microbiana contribuyendo a la destrucción de la capa de ozono por la producción de óxido nitroso N₂O.

2.1.6 MARCO LEGAL PARA LA GESTION DE LOS RESIDUOS DE GRANJAS

La actividad avícola genera grandes volúmenes de estiércol de gallina. Estos residuos ocasionan impactos negativos al medio ambiente por su alto contenido de nutrientes y materia orgánica, altas concentraciones de gases y malos olores (Estrada ,2005).

En el ámbito internacional la legislación de la Comisión Europea del Medio Ambiente, la DIRECTIVA 2008/1/CE cuya finalidad es la prevención y control integral de la contaminación de diversas actividades entre ellas las instalaciones destinadas a la cría intensiva de aves de corral. En ella se establecen medidas destinadas a evitar o reducir las emisiones en el aire, el agua y la tierra de la actividades antes mencionadas, incluidas las medidas relativas a los residuos, con el fin de alcanzar un nivel elevado de protección del medio ambiente.

En Latinoamérica existen normas que reglamentan el manejo y control de la gallinaza y pollinaza. En países como Venezuela con la Resolución 46 “Normas sobre el estiércol de gallina” del 1988), Colombia con Resolución 189 “Sanitización de gallinaza o pollinaza” del 2005 y Costa Rica con su Decreto N° 29145-MAG-S-MINAE del 1996 manejan sus residuos avícolas basados en normativas legales y técnicas que aseguran su adecuada disposición.

En el Perú, el anexo 1:Condiciones mínimas de infraestructura de las granjas y plantas de incubación del Reglamento de Instalación y Funcionamiento de Granjas Avícolas y Plantas de Incubación (MINAG, 1997), establece literalmente lo siguiente: *“Eliminación de desechos: Las Granjas deberán contar con un crematorio o un pozo séptico, que permita la eliminación de aves muertas y de desechos; dichos pozos sépticos deberán estar dentro del perímetro de la granja, con un sistema de cubierta que lo aislé de la granja y que no cause daños a terceros. Los desechos de las Plantas de Incubación, deberán ser incinerados, incorporados a pozos sépticos o llevados a botaderos autorizados por la Municipalidad de la zona, deberán ser trasladados en envases cerrados (sellados) para evitar la contaminación del ambiente y a terceros.”*

Además, el Decreto Supremo N°010 -2003 - AG “Reglamento de Control y erradicación de la Enfermedad de Newcastle” que establece: la gallinaza debe ser rociada con cal viva y posteriormente incinerada o enterrada, bajo responsabilidad del propietario y con la supervisión del inspector del Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA). Estos reglamentos, los residuos generados por la avicultura se enfocan a la incineración sin ningún aprovechamiento o restricción de su uso directo como fertilizante o alimento de animales.

Sin embargo, el reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos N° 27314, (Decreto Supremo N° 057-2004-PCM) establece obligaciones, atribuciones y responsabilidades a la sociedad para asegurar la gestión y manejo de residuos agropecuarios. Los residuos generados de las actividades agropecuarias (incluye la actividad avícola) están dentro de la categorización de residuos no municipales, estos tipos de residuos está a cargo del generador de los mismos, estando obligado a contratar a alguna Empresa Prestadora de Servicios de Residuos Sólidos (EPS-RS) o alguna Empresa Comercializadora de Residuos Sólidos (EC-RS), para el manejo de estos.

Además, Reglamento técnico para los productos orgánicos (D.S. N° 044 2006-AG) menciona en el artículo 23 que el manejo de las excretas animales deben complementar un proceso de fermentación para prevenir focos infecciosos y el artículo 11, el uso de abonamiento del suelo con estiércol animal preferentemente debe ser antes de un tratamiento ya sea compost. Este reglamento abre puertas a un manejo adecuado de residuos, en general, de la avicultura donde cabe la posibilidad del aprovechamiento de estos residuos bajo un estudio de impacto ambiental.

2.2 LA DIGESTION ANAEROBIA

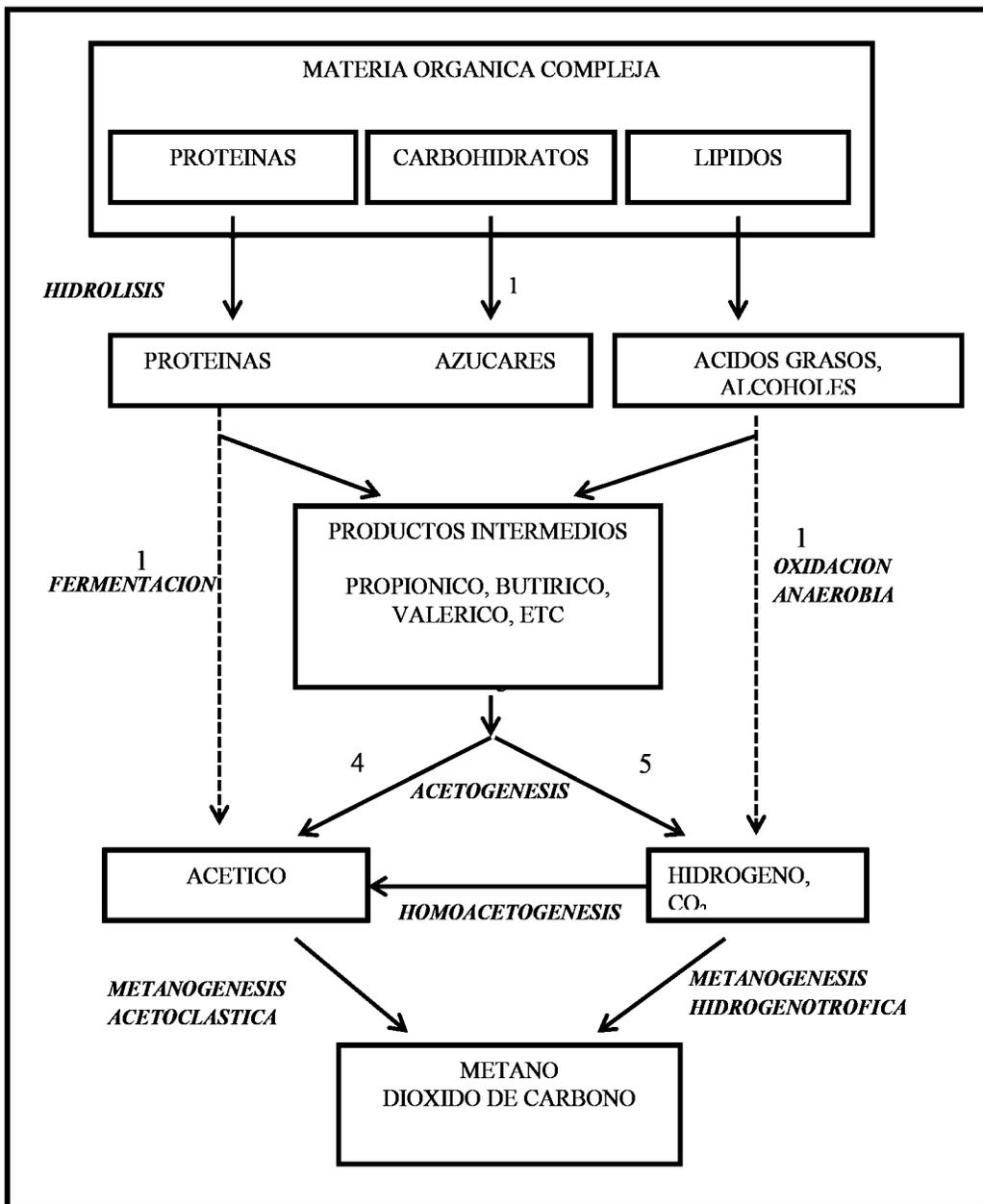
2.2.1 FUNDAMENTOS

La digestión anaerobia es un proceso microbiológico que ocurre naturalmente en el ambiente, ejemplo en el estómago de los rumiantes. Bajo condiciones anaeróbicas la materia orgánica es degradada mediante un proceso microbiológico complejo, este proceso en bioreactores da una excelente solución para el tratamiento de residuos orgánicos. Los productos de este proceso son un efluente que puede ser utilizado como fertilizante orgánico y la producción de biogás como uso energético (Ferrer, 2008).

Este proceso es muy complejo por las reacciones químicas y cantidades de microorganismos (Martí, 2006), para representar todo el proceso se dividen estas reacciones en fases. En la figura 4 se muestra las cuatro fases de la digestión anaerobia, las bacterias que actúan y los productos intermediarios.

El proceso de la primera fase es la hidrólisis cuyas bacterias fermentativas transforman las partículas y moléculas complejas en compuestos solubles, a partir de estos compuestos las bacterias acidogénicas producen ácidos grasos de cadena corta, posteriormente estos son transformados en acético, hidrogeno y CO₂ por las bacterias acetogénicas. Por último en la metanogénesis se convierte el acético, H₂ y CO₂ en metano. (Campos, 2001 citado por Almeida, 2007).

En la fase hidrólisis y acidogénesis las bacterias que participan son facultativas, mientras que para la acetogénesis son anaerobios estrictos con una tasa de crecimiento cinco veces menor que las de acidogénesis. Por tal razón si las bacterias acetogénicas tuvieran problemas para reproducirse y consumir los ácidos, estos se acumularan y generaran dificultades a las bacterias metanogénicas para producir metano. (Flotats, 1997 citado por Almeida, 2007).



Los números indican la población bacteriana responsable de cada proceso 1: bacterias fermentativas, 2: bacterias acetogénicas que producen hidrogeno; 3: bacterias homoacetogénicas; 4: bacterias metanogénicas ó; 5: bacterias metanogénicas acetoclásticas.

Figura 4: Esquema de reacciones de la digestión anaerobia de materiales poliméricos

FUENTE: Pavlosthatís y Giraldo-Gómez (1991) citado por Martí (2006)

Las condiciones ambientales (pH, temperatura, potencial redox, etc) pueden favorecer el desarrollo a un cierto grupo de bacterias de las fases mencionadas, es importante mantener el equilibrio para asegurar un proceso equilibrado de degradación (Almeida, 2007). Por

esta razón el control de las condiciones ambientales es un factor clave, especialmente en relación con las bacterias metanogénicas (anaerobios estrictos).

2.2.2 FASES DE LA DIGESTION ANAEROBIA

2.2.2.1 Hidrolisis

La materia orgánica polimérica (proteínas, carbohidratos y lípidos) es hidrolizada por enzimas extracelulares de los microorganismos hidrolíticos a moléculas orgánicas solubles, proporciona sustratos orgánicos para la digestión anaerobia. Los productos de la hidrólisis son azúcares sencillos, aminoácidos y ácidos grasos, aunque la digestión de proteínas y aminoácidos forma amoníaco y iones amonio (Pavlostathis y Giraldo-Gómez, 1991 citado por Rivera, 2010). Según Speece (1983) citado por Martí (2006), la hidrolisis depende de la temperatura del proceso, tiempo de retención hidráulico, composición del sustrato (las lignocelulosicas limita el proceso porque es muy resistente a la degradación), tamaño de partículas, pH y concentración de NH_4^+ .

Según Martí (2006) Cualquier sustrato se compone de tres tipos básicos de macromoléculas:

- **Proteínas**, son fuentes de carbono y energía por lo cual es un sustrato muy importante en el proceso de digestión anaerobia pues sus productos tienen un elevado valor nutricional. Las proteínas son hidrolizadas por enzimas proteasas en péptidos y aminoácidos, parte de estos aminoácidos son utilizados directamente en la síntesis del nuevo material celular y el resto son degradados a ácidos grasos volátiles, dióxido de carbono, hidrogeno, amonio y sulfuro en las siguientes fases del proceso.
- **Lípidos**, su degradación en condiciones anaerobios comienza con la ruptura de las grasas por la acción de las enzimas lipasas produciendo ácidos grasos de cadena larga y glicerol.
- **Materiales lignocelulósicos**, compuestos principalmente por lignina, celulosa y hemicelulosa, su degradación es lenta que suele ser la etapa limitante del proceso hidrólisis pues la lignina es muy resistente a la degradación por parte de las bacterias anaeróbicas.

Iparraguirre (2007) realizó un análisis proximal % de grasa, proteína y fibras de tres tipos de estiércol como se muestra en el cuadro 9:

Cuadro 9: Análisis proximal del estiércol de vacuno, cuy y gallina.

| ESTIERCOL | Grasa (%) | Proteína (%) | Fibra (%) |
|------------------|------------------|---------------------|------------------|
| Vacuno | 0.62 | 16.67 | 23.13 |
| Cuy | 1.39 | 17.74 | 11.91 |
| Gallina | 1.60 | 9.32 | 10.46 |

FUENTE: Laboratorio Evaluación Nutricional de Alimentos-UNALM. (Iparraguirre, 2007)

2.2.2.2 Acidogénesis

La acidogénesis se define como un proceso anaeróbico microbiano con producción de ácido sin un donador o aceptor externo de electrones (Gujer y Zehnder, 1983 citado por Rivera, 2010). Las moléculas orgánicas solubles de la primera fase son degradadas a compuestos acético y liberando como productos hidrogeno y dióxido de carbono que son utilizados directamente por bacterias metanogénicas (Martí, 2006).

Esta reacción es endoenergética pues demanda energía para ser realizada y es posible gracias a la estrecha relación simbiótica de las bacterias acetogénicas con las metanogénicas que substraen los productos finales del medio para disminuir su concentración, esto activa la reacción y actividad de los compuestos orgánicos más reducidos que luego serán oxidados por las bacterias acetogénicas (Hilbert, 2006). El pH se encuentra en la zona ácida 5.1 a 6.8 (Guevara, 1996)

En esta fase se da los siguientes procesos (Martí, 2006):

- *Fermentación de carbohidratos solubles*, la principal ruta metabólica para degradar ácidos orgánicos a glucosa es Embden – Meyerhof, esta fermentación se realiza por

diferentes microorganismos. Los Clostridium son los principales microorganismos que convierten la glucosa en butírico, acético, CO₂ y H₂.

- **Fermentación de aminoácidos**, los principales productos son los ácidos grasos de cadena corta, succínico, aminovalerico e H₂, esta fermentación consiste en un proceso rápido que no limitan la velocidad de degradación de compuestos proteicos. Las bacterias que participan en el proceso son *Clostridium*, *Peptococcus* y *Bacteroides*.
- **Oxidación anaerobia de ácidos grasos de cadena larga**, estos son oxidados a ácidos grasos de cadena corta mediante los mecanismos de β – oxidación que es un ciclo en espiral que va liberando un acetyl-CoA en cada bucle produciendo ácido acético. Es importante la acción simbiótica de los microorganismos consumidores de hidrogeno para producir este mecanismo pues en condiciones anaerobias es termodinámicamente inestable.

2.2.2.3 Acetogénesis

En esta fase, la degradación de ácidos orgánicos a acetato, es un proceso de oxidación sin un aceptor interno de electrones, por lo cual se necesita organismos que oxidan los ácidos orgánicos para utilizar un aceptor de electrones adicional como el ion hidrógeno o el CO₂, y estos son consumidos por organismos metanogénos (Batstone *et al.*, 2002 citado por Rivera, 2010). El pH se encuentra en la zona acida 6.6 y 6.8 (Guevara, 1996).

La oxidación del acetato en condiciones mesófilas se incrementa conforme aumenta la concentración de sales, principalmente amoníaco y ácidos grasos volátiles (Schnürer *et al.*, 1999 citado por Rivera, 2010). Uno de los principales inhibidores de esta fase es la acumulación de hidrogeno molecular porque provoca la acumulación rápida de sustratos (Martí, 2006).

Al respecto, los metanogénos hidrogenotróficos juegan un rol crucial en la eliminación constante de H₂ y produciendo metano para hacer energéticamente posible la oxidación por

organismos consumidores de H₂. Así, la asociación entre oxidadores de sustrato y metanógenos consumidores de H₂ es indispensable para sostener el proceso completo de degradación anaeróbica (Rivera, 2010). Las bacterias representantes de esta fase son *Syntrophomonas wolfei* y *Syntrophobacter wolfei* (Martí, 2006).

2.2.2.4 Metanogénica

Los microorganismos metanogénicas mediante la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados como el acetato, H₂/CO₂, formato, metanol y algunas metilaminas completan el proceso de digestión anaerobia. Se establece dos grupos de microorganismos en función al sustrato principal que metabolizan: *hidrogenotrofos* quienes consumen H₂/CO₂ y fórmico y los *acetoclasticos*, consumen acetato, metanol y algunas aminas (Martí, 2006). Los dos mecanismos de producción de metano (Madigan *et al.*, 2004 citado por Rivera, 2010) son:

Se ha demostrado que el 70% del metano producido en reactores anaeróbicos se forma a partir de acetato, solo dos géneros que tienen especies acetotróficas pueden utilizar acetato y son *Methanosarcina* y *Methanothrix*. (Martí, 2006). El pH se encuentra entre 6.9 a 7.4 (Guevara, 1996).

En el Cuadro 10 se compara las propiedades de las dos fases principales la acidogénica y metanogénica para lograr comprender el equilibrio y funcionamiento óptimo de un biodigestor (Hilbert, 2006).

Como se observa en el cuadro, la fase metanogénica tiene una lenta velocidad de recuperación de las bacterias metanogénicas, la estabilización de un digestor “agriado” será muy lenta, de allí la importancia del cuidado de los parámetros que influyen en el proceso. (Hilbert, 2006)

Cuadro 10: Comparación de las propiedades de la fase acidogénica y metanogénica

| FASE ACIDOGENICA | FASE METANOGENICA |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">- Bacterias facultativas (pueden vivir en presencia de bajos contenidos de oxígeno).- Reproducción muy rápida (alta tasa reproductiva)- Poco sensibles a los cambios de acidez y temperatura.- Principales metabolitos, ácidos orgánicos. | <ul style="list-style-type: none">- Bacterias anaeróbicas estrictas (No pueden vivir en presencia de oxígeno).- Reproducción lenta (baja tasa reproductiva).- Muy sensibles a los cambios de acidez y temperatura.- Principales productos finales, metano y dióxido de carbono |

FUENTE: Hilbert, 2006

2.2.3 VARIABLES DEL SISTEMA

Para que las bacterias aseguren su ciclo biológico en el proceso de digestión anaerobia es necesario que se presenten en condiciones óptimas de temperatura, tiempo de retención, presión, hermetismo, etc. (Soria *et al*, 2000). Los factores que influyen en la productividad de los biodigestores son:

2.2.3.1 Variables físicoquímicos:

Tipo de materia prima

Los sustratos ideales son los desechos orgánicos húmedos de origen agrícola, industrial, doméstico y municipal, así como las excretas de origen humano y animal porque contienen nutrientes como carbono, nitrógeno y azufre (Rivas *et al* 2010). Normalmente las sustancias orgánicas como los estiércoles y lodos cloacales presentan estos elementos en proporciones adecuadas. (Hilbert, 2006). Es importante la proporción de carbono y nitrógeno entre 20 a 30, si la cantidad de nitrógeno aumenta produce la formación de amonio y este puede ser inhibitorio para la fermentación anaeróbica y tóxico para las bacterias metanogénicas (Guevara, 1996; Gallert y Winter, 1997; Cui y Jahng, 2006 citado por Rivas *et al*, 2010). En este sentido no se recomienda utilizar un solo tipo de sustrato, más bien de combinar materiales ricos en nitrógeno con materiales abundantes en carbono para obtener un buen balance de nutrientes que promueva el adecuado crecimiento de los

microorganismos que degradan la materia orgánica dentro del biodigestor (Guevara,1996 citado por Rivas *et al*, 2010)

Temperatura

La temperatura es un factor de gran influencia en la velocidad de la digestión anaerobia porque la velocidad de reacción de este proceso depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados que a su vez dependen de la temperatura (Marti, 2006).

Existen tres rangos de temperatura de acuerdo al tipo de bacterias que predominan en cada una de ellas en el siguiente cuadro:

Cuadro 11: Rango de temperaturas de acuerdo al tipo de bacterias

| Bacterias | Rango de temperaturas | Sensibilidad |
|------------------|------------------------------|---------------------|
| Psicrofílicas | menos de 20°C | + - 2°C/hora |
| Mesofílicas | entre 20°C y 40°C | + - 1°C/hora |
| Termofílicas | más de 40°C | + - 0,5°C/hora |

FUENTE: Hilbert (2006)

Existe un intervalo máximo dentro de cada rango de temperatura, determinando así la temperatura de trabajo óptima en cada uno de los rangos posibles de operación (Figura 5)

El rango psicrofílico ha sido poco estudiado por ser poco viable debido al gran tamaño del reactor, el rango mesofílico es el más utilizado a pesar que en la actualidad el rango termofílico puede conseguir una mayor velocidad del proceso pues a medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y acelera el proceso de digestión, Pero este régimen presenta mayores problemas de inhibición del proceso por la mayor toxicidad de determinados compuestos (nitrógeno amoniacal o ácidos grasos de cadena larga) a elevadas temperaturas (Martí, 2006).

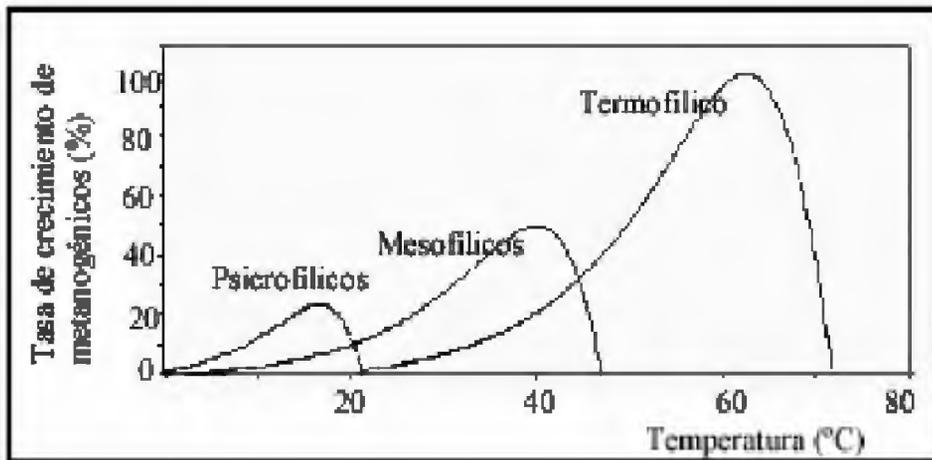


Figura 5: Dependencia de la constante de crecimiento de la temperatura

FUENTE: Martí, 2006.

Las variaciones bruscas de temperatura en el digestor pueden provocar la desestabilización del proceso por ello se recomienda un sistema adecuado de agitación y controlador de temperatura (Martí, 2006). Al mismo tiempo se deberá tener en cuenta que al no generar calor el proceso la temperatura deberá ser lograda y mantenida mediante energía exterior (Hilbert, 2006).

La temperatura del proceso también actúa en la solubilidad de los gases generados, los gases NH_3 , H_2 y H_2S descienden al aumentar la temperatura favoreciendo la transferencia líquido - gas. La desventaja es el descenso de CO_2 porque provocaría un aumento de pH. Lo que generaría posibles situaciones de inhibición por NH_3 . Por otra parte aumentaría la mayoría de las sales de manera que la materia orgánica es más accesible para los microorganismos aumento así la velocidad del proceso (Martí, 2006).

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

Tiempo de retención.

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 el biol con excelentes características como fuente de nutrientes. (Soria, Ferrera, Etchevers, 2000).

pH y Alcalinidad

El pH aparte de medir las concentraciones del ion hidrógeno o el ion hidroxilo también determina la composición del nitrógeno amoniacal total; el amonio e iones hidrógeno (H^+) se encuentran a bajos niveles de pH mientras que el amoníaco y iones hidroxilo dominan a altos pH (Sung y Liu, 2003 citado por Rivera, 2010). Además determina la producción y composición del 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 (Martí, 2006).

Los diferentes grupos bacterianos presentes en el proceso de digestión presentan unos niveles de actividad óptima: fermentativos; entre 7.2 y 7.4, acetogénicos; entre 7.0 y 7.2; metanogénicos; 6.5 y 7.5. El pH es una variable utilizada en el diagnóstico de los sistemas anaerobios ya que muchos fenómenos tienen influencia sobre el mismo (Martí, 2006).

La alcalinidad es una medida de la capacidad tampón del medio, el principal equilibrio que controla la alcalinidad es el dióxido de carbono/ bicarbonato (Martí, 2006). La capacidad del "buffer" es el equilibrio del CO_2 y los iones bicarbonato (HCO_3^-) que brindan resistencia a cambios significativos y rápidos en el pH y de esta manera la capacidad es proporcional a la concentración de bicarbonato (Lansing et al., 2010; Ward et al., 2008 citado por Rivera, 2010). Estudios previos han demostrado que valores de la alcalinidad de bicarbonato mayor a 2 500mg/l aseguran un buen control de pH (Martí, 2006).

Nutrientes:

El proceso de digestión anaerobia requiere baja necesidad de nutrientes por los bajos índices de producción de biomasa que presentan los microorganismos anaerobios. Los

principales nutrientes son el carbono, nitrógeno y fósforo, y una serie de elementos minerales a nivel trazas como S, K, Na, Ca, Mg y Fe. (Martí, 2006).

Relación C/N.

La relación óptima de C/N es de 30:1 para el crecimiento de los microorganismos, cuando la relación es muy estrecha (10:1) hay pérdidas de nitrógeno asimilable, lo cual reduce la calidad del material digerido. Si la relación es muy amplia (40:1) se inhibe el crecimiento debido a falta de nitrógeno. (Soria *et al*, 2000)

Agitación - mezclado

La agitación permite la remoción de los metabolitos producidos por las bacterias metanógenas, mezclado del sustrato fresco con la población bacteriana, evitar la formación de costra que se forma dentro del digestor, uniformar la densidad bacteriana y evitar la formación de espacios “muertos” sin actividad biológica. (Hilbert, 2006). El sistema de agitación puede ser mecánico, hidráulico y neumático (Martí, 2006). La elección de un determinado sistema se tendrá siempre presente el equilibrio simbiótico entre varios tipos de bacterias, la ruptura de ese equilibrio en el cuál el metabolito de un grupo específico servirá de alimento para el siguiente implicará una mema en la actividad biológica y por ende una reducción en la producción de gas. (Hilbert, 2006)

Inhibidores

El proceso de digestión anaerobia es inhibido por presencia de sustancias toxicas en el proceso ocasionando la falla de un biodigestor. (Martí, 2006). Estas sustancias están presentes en concentraciones sustanciales en los residuos, lodos y aguas residuales (Chen *et al.*, 2008 citado por Rivera, 2010), además pueden ser subproductos de la actividad metabólica de los microorganismos (Martí, 2006).

Un material es inhibidor cuando causa un cambio adverso en la población microbiana o inhibición del crecimiento bacteriano (Chen *et al.*, 2008 citado por Rivera, 2010), entre los más comunes incluyen el amoniaco, sulfuro, iones metálicos ligeros, metales pesados y compuestos orgánicos como se observa en el Cuadro 12 (Rivera, 2010). También

mecanismos como el antagonismo, sinergismo, aclimatación y complejidad pueden afectar significativamente el fenómeno de inhibición (Chen *et al.*, 2008 citado por Rivera, 2010).

Cuadro 12: Sustancias inhibidores del proceso de digestión anaerobia

| INHIBIDORES | CONCENTRACIÓN INHIBIDORA |
|----------------------------|---------------------------------|
| SO ₄ | 5.000 ppm |
| NaCl | 40.000 ppm |
| Nitrato | 0,05 mg/ml |
| Cu | 100 mg/l |
| Cr | 200 mg/l |
| Ni | 200-500 mg/l |
| CN | 25 mg/l |
| ABS (Detergente sintético) | 20-40 mg/l |
| Na | 3.500-5.500 mg/l |
| K | 2.500-4.500 mg/l |
| Ca | 2.500-4.500 mg/l |
| Mg | 1.000-1.500 mg/l |

FUENTE: Hilbert, 2006

Nitrógeno Amoniacal

El nitrógeno orgánico es hidrolizado dando lugar a formas amoniacales en el proceso anaeróbico, el nitrógeno amoniacal es la suma del ión amonio (NH₄⁺) y del amoniaco (NH₃), estas especies se encuentran en equilibrio químico, y la concentración relativa de cada uno depende del pH (Martí, 2006). La que inhibe el proceso es el amoniaco libre, es la principal inestabilidad asociada con la digestión anaeróbica de residuos animales (Rivera, 2010). Esta inestabilidad a menudo resulta en una acumulación de ácidos grasos volátiles lo cual conduce a una reducción del pH y disminuye la concentración de amoniaco libre.

Se ha comprobado experimentalmente que el efecto inhibitorio por amonio aumenta el pH alcalino, también está vinculado con relación C/N, capacidad tamponadora del medio y temperatura de digestión. Aquellos residuos que contengan mayores proporciones de proteínas o compuestos nitrogenados presentaran más problemas de inhibición por amonio (Martí, 2006). Para la remoción de amoniaco se pueden emplear métodos fisicoquímicos como la precipitación química, incremento del tiempo de retención de biomasa (Chen *et al.*, 2008 citado por Rivera, 2010).

Sulfatos y sulfuros

Elevadas concentraciones de sulfato en el sustrato puede producir la inhibición de la fase metanogénesis, las bacterias metanogénicas compiten con las sulfato – reductoras por el acetato e hidrogeno (Martí, 2006). El sulfuro es también un inhibidor para muchos grupos bacterianos, la forma toxica es la no ionizada, por la que la inhibición se favorece a pH bajos y a bajas temperaturas (Martí, 2006). Los niveles de inhibición del sulfuro van de 100 a 800 mg/l de sulfuro disuelto (Chen *et al.*, 2008 citado por Rivera).

Sales

Altos niveles de sal pueden causar deshidratación de las células bacterianas inhibiendo el proceso, la toxicidad de las sales predomina por los siguientes cationes (Chen *et al.*, 2008 citado por Rivera, 2010):

- El Ca^{2+} es un fuerte inhibidor a concentraciones de 8000 mg/l aunque la adición de calcio puede tener impactos positivos en los reactores cuando se desea aumentar la retención de la biomasa
- El Mg^{2+} a altas concentraciones muestran un estímulo en la producción de células aisladas, sin embargo, estas células aisladas muestran una alta sensibilidad a la lisis lo que crea un factor importante en la pérdida de la actividad acetoclástica.
- Altos niveles de potasio extracelular conducen a una afluencia pasiva de iones potasio que neutralizan el potencial de la membrana. El sodio, magnesio y amoniaco mitigan la toxicidad del potasio.

Ácidos grasos volátiles

Las ácidos grasos volátiles, productos intermedios mayoritarios del proceso anaerobio, es uno de los parámetros que indica la evolución del proceso, un aumento significa una

desestabilización del proceso y en consecuencia una disminución de la producción de biogás (Martí, 2006). Los ácidos grasos de cadena corta son capaces de inhibir la metanogénesis a altas concentraciones principalmente propiónico y butírico, la razón aquí es que los metanógenos no son capaces de metabolizar el acético producido hasta que el número de metanógenos se incremente lo suficiente (Ward *et al.*, 2008 citado por Rivera, 2010). Así mismo, los ácidos grasos de cadena larga han mostrado la inhibición del proceso siendo más sensible en los metanógenos (Roy *et al.*, 1985 citado por Rivera, 2010).

2.2.3.2 Variables microbiológicas

Adición de bacterias termofílicas

El rendimiento de un sistema de digestión anaeróbica está ligado a la estructura de la comunidad microbiana presente en el digestor cuyos parámetros ambientales y de operación del proceso afectan el comportamiento y rendimiento de la comunidad microbiana en los digestores anaeróbicos (Rivas *et al.*, 2010). La naturaleza e influencia de los lodos usados para la inoculación como bacterias termofílicas aeróbicas (TA) tiene un gran potencial como tratamiento rentable para acelerar la digestión anaeróbica de desechos biológicos (Demiler y Scherer, 2008 citado por Rivas *et al.*, 2010). La adición de 5% (v/v) de lodos TA al lodo metanogénico aumenta la producción de biogás con una concentración de metano de 50-67% debido a que influyen la hidrólisis de los lodos durante la digestión anaeróbica .

Importancia de los metanógenos

Según Demirel y Scherer (2008) citado por Rivas *et al.* (2010), la actividad de los metanógenos acetotróficos son de gran importancia durante la conversión anaeróbica del acetato y la actividad de los metanógenos hidrogenotróficos, por su parte, es crucial para un funcionamiento estable y eficiente del biodigestor. Por esta razón, se debe promover un aumento en la productividad de los biodigestores mediante la inoculación con fuentes conocidas de microorganismos metanógenos como el rumen de vaca, lo cual representa una alternativa eficiente y de bajo costo.

2.2.4 TIPOS DE DIGESTORES

Se han desarrollado diversos tipos de digestores de acuerdo a la aplicación de gas, las características del material a ser digerido, a las exigencias en cuanto a niveles de descontaminación a lograr y a la relación costo-inversión-beneficio. En el Cuadro 13 se aprecia los diferentes tipos de digestores en utilización desde los más sencillos hasta la última generación de reactores de alta eficiencia, complejidad y costo.

Cuadro 13: Tipo de biodigestores

| | |
|-----------------------------|---|
| Carga | a. Sistema Batch b. Sistema continuo o semicontinuo |
| Intensidad de mezcla | a. Mezcla complete b. Mezcla parcial o nula |
| Manejo del sustrato | a. Contacto anaerobico b. USA (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) c. Lecho fluidizado d. Filtro anaeróbico |
| Manejo bioquímico | a. Una etapa b. Dos etapas |

FUENTE: Hilbert, 2006

Sistema batch

Se caracterizan por una carga y vaciado total de la cámara de digestión. De uso en laboratorios y en el tratamiento de materias vegetales. Con o sin agitación. Requieren para acelerar su arranque de una proporción de inóculo 20%. Su curva de producción de gas sigue la característica (arranque-estabilización-agotamiento). Este tipo de digestores son eficaces para la digestión de materiales celulósicos que no pueden ser tratados en los digestores de tipo continuo debido al posible taponamiento de los conductos de alimentación y salida.

Sistema continuo o semicontinuo:

En este tipo de digestores el volumen que ingresa desplaza una cantidad equivalente de efluente que se evacua por la salida. De este modo el volumen del substrato en la cámara de digestión se mantiene constante. Los continuos se cargan generalmente en forma diaria, a diferencia de los semicontinuos se descargan totalmente una o dos veces por año que generalmente coincide con el período de siembra para aprovechar el poder fertilizante de los residuos de la digestión y de los lodos fermentados, parte de estos últimos es utilizada en el nuevo arranque.

2.2.5 PRODUCTOS FINALES OBTENIDOS DE LA DIGESTION ANAEROBIA

Biogás

Se llama biogás a la mezcla constituida por metano CH₄ en una proporción que oscila entre un 50% a un 70% y dióxido de carbono conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno. El biogás puede ser utilizado en cualquier tipo de equipo comercial para uso de gas natural (Hilbert, 2006).

Efluente

Es la mezcla del influente estabilizado y la biomasa microbiana producida (Marti, 2006). Este es separado en su fase sólida conocida como “biosol” y su fase líquida como “biol”. De este efluente el 90% corresponde al biol y el 10% al biosol (Aparcana, 2008); El biosol, es el bioabono sólido, que se emplea como abono orgánico enriquecido como estimulante de crecimiento radicular y parte aérea de la planta. El biol que es la parte líquida, es utilizado como abono foliar, en el acápite 2.3 se desarrolla en extenso las características de este efluente.

2.3 BIOL

2.3.1 DEFINICIÓN

El biol es una fuente de fitorreguladores, producto del proceso de descomposición anaeróbica de los desechos orgánicos. Actúa como estimulante orgánico porque promueve el crecimiento y desarrollo de plantas. (Colque. et al, 2005)

Según la RAAA (2004) citado por Espejo (2007), el biol es una fuente orgánica de fitoreguladores descargado de un biodigestor que permite promover actividades fisiológicas y estimulantes para el desarrollo de las plantas. En el biodigestor, aproximadamente el 90% de material que ingresa se transforma en biol. (Aparcana ,2008).

2.3.2 CARACTERISTICAS

Gomero y Rabanal, 1996, citado por Mendizábal (2007) afirman que la composición del biol presenta precursores hormonales como ácido indol acético, giberelinas y vitaminas, esta es la razón del efecto del biol en el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Las experiencias en el campo han demostrado que la mayor respuesta de la aplicación del biol se encuentra en suelos de baja fertilidad. Gracias a estas propiedades del biol, su elaboración se realiza en forma artesanal y su contenido nutricional depende del material ha fermentar anaeróbicamente.

Las ventajas del biol más importantes según Aparcana & Hansen (2008) son:

- Permite un mejor intercambio cationico en el suelo. Con ello se amplia la disponibilidad de nutrientes del suelo. También ayuda a mantener la humedad del suelo y a la creación de un macroclima adecuado para las plantas.
- Pruebas realizadas con diferentes cultivos muestran que usar Biol solo sería suficiente para lograr la misma o mayor productividad del cultivo que empleando fertilizantes químicos.

2.3.3 APLICACIONES DEL BIOL

El biol tiene diferentes funciones dependiendo del tipo, existe tres tipos de biol: el **biol biocida** cuya finalidad es controlar plagas y enfermedades; el **biol para suelos y hojas**, nutrir a la planta y mejorar la fertilidad del suelo y el **biol abono foliar**, nutre directamente a la planta. Este último tipo, tiene mayor ventaja porque acelera el crecimiento de las plantas e incrementa los rendimientos. (AEDES, 2006).

El biol puede ser utilizado en labores agrícolas para una gran variedad de plantas sea de periodos vegetativos cortos o largos, gramíneas, forrajeras, leguminosas, frutales, hortalizas, raíces, tubérculos y ornamentales con aplicaciones dirigidas al follaje, suelo, semilla y/o raíz. Sus posibles usos son los siguientes (AEDES, 2006):

Uso directo al suelo: estimula la recuperación de la fertilidad de los suelos, para obtener resultados más duraderos las aplicaciones al suelo pueden realizarse en el agua de irrigación aplicando alrededor del tallo en una dilución de 10 hasta el 30%.

Uso foliar: busca un resultado más inmediato por lo cual es aplicado a las hojas de cultivo. La dilución debe ser del 1 hasta el 10%. La aplicación foliar puede repetirse de 3 a 4 veces durante el desarrollo vegetativo.

Uso en la semilla: el biocida se puede utilizar para desinfectar y desinfestar las semillas y como biofertilizante a la vez para acelerar el enraizamiento. La semilla se deja en remojo antes de la siembra, el tiempo de remojo y la concentración del bioles es muy importante

2.4 EFECTO DEL BIOL SOBRE LAS PLANTAS

2.4.1 REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES DE LAS PLANTAS

Los nutrientes son los elementos esenciales para el crecimiento de la planta. Las plantas requieren de una adecuada, oportuna y balanceada nutrición mediante elementos esenciales para el crecimiento de las mismas de los cuales son los minerales que se hallan en la atmósfera y el agua; y los no minerales que son aquellos originados en el suelo y se dividen en tres grupos: nutrientes mayores (Nitrógeno, fósforo y potasio), los secundarios (Calcio, magnesio y azufre) por último los menores. (AEDES, 2006).

Los nutrientes mayores son los que primero expresan su ausencia en el suelo por sus altos niveles de extracción por parte de la planta, mientras que los secundarios y menores son requeridos en cantidades pequeñas y su ausencia no son tan notorias. En las siguientes figuras se observa las funciones de los nutrientes mayores en las plantas:

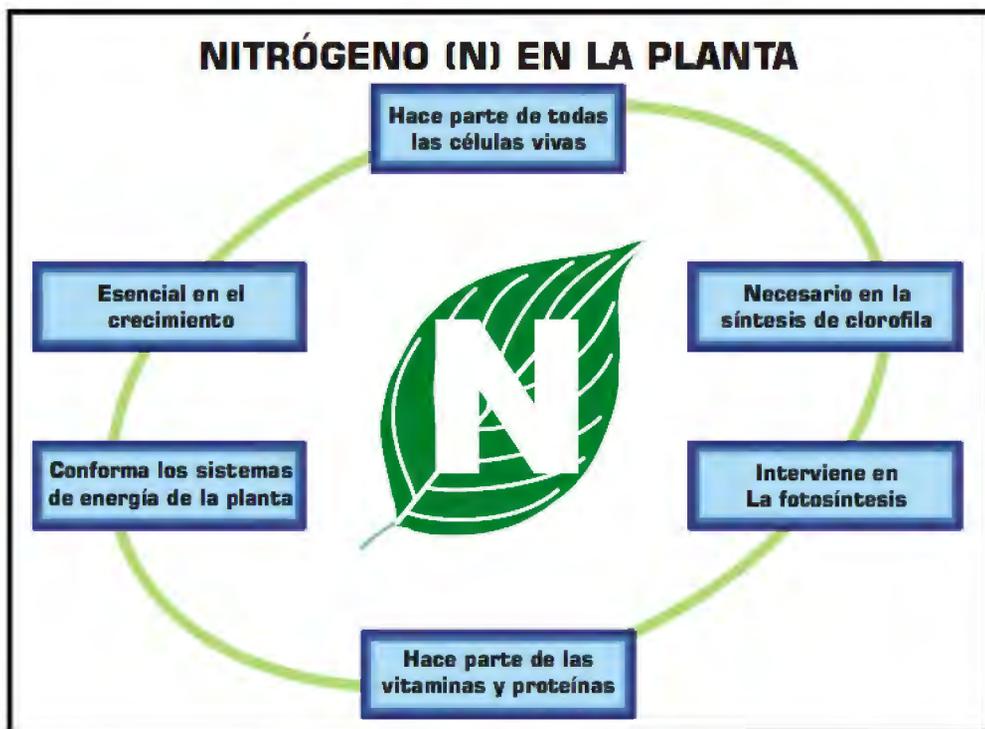


Figura 6: Funciones del nitrógeno en las plantas

FUENTE: ADES (2006)

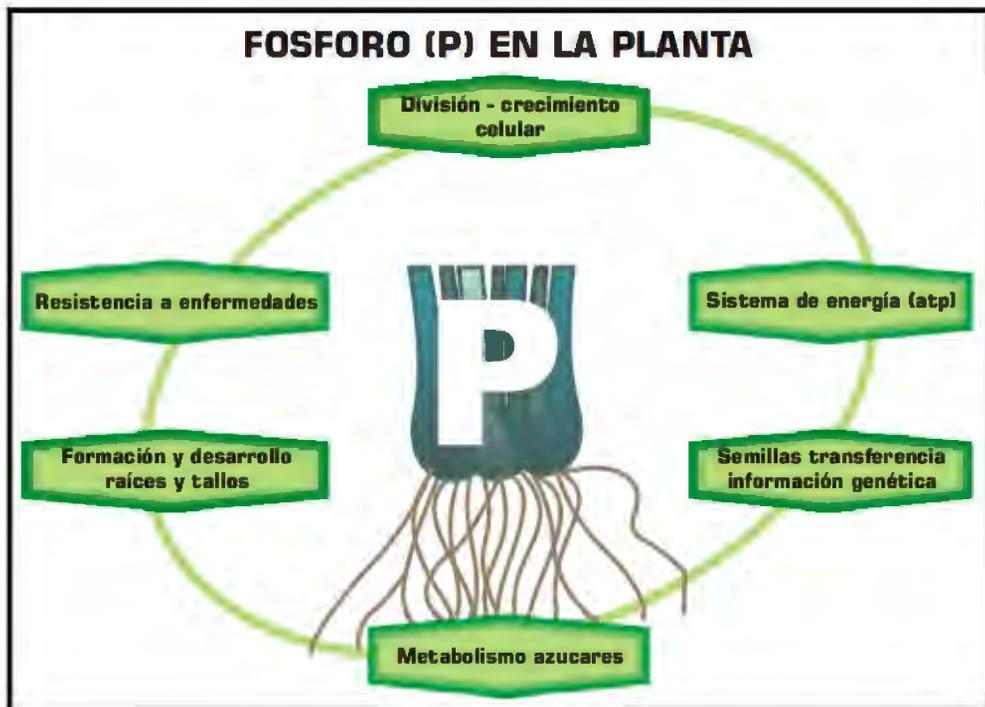


Figura 7: Funciones del fosforo en la planta

FUENTE: ADES (2006)



Figura 8: Funciones del potasio en la planta

FUENTE: ADES (2006)

El cultivo toma una parte del nitrógeno disponible, este nitrógeno que no absorbe la planta se pierde en el ambiente. Esta pérdida es la diferencia del total disponible y el total absorbido. En la Figura 9 es la diferencia entre la línea superior del bloque de biofijación y la curva de absorción.

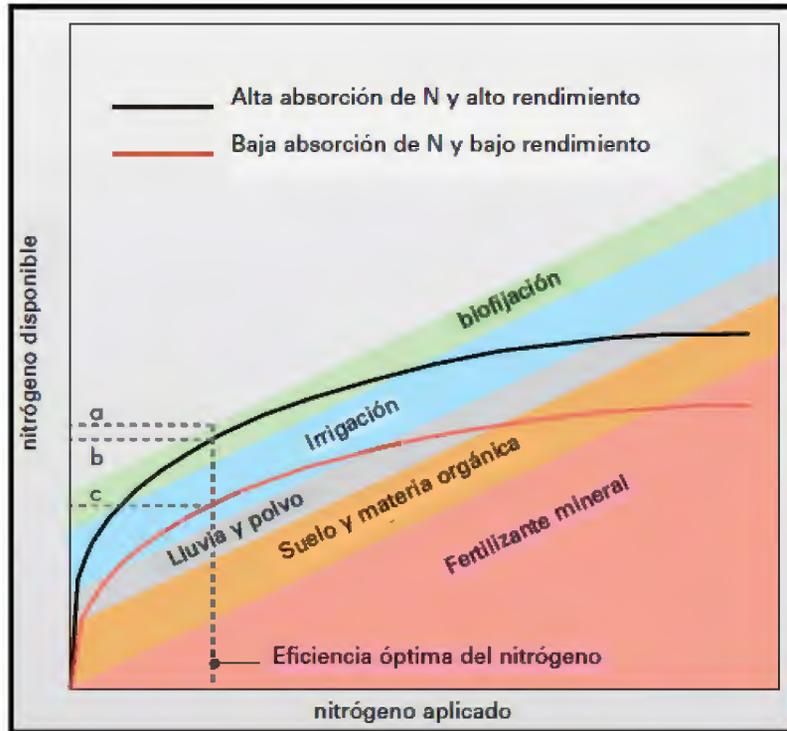


Figura 9: Eficiencia óptima del Nitrógeno

FUENTE: FAO. 1999

Según la Figura 9, un suministro pobre de N, habrá poca absorción y la pérdida transferida al ambiente será alta. Si aumentamos el suministro de N, la planta absorberá mayores cantidades hasta llegar a su límite lo resto se perderán en el ambiente. Para aumentar la eficiencia (absorción) los agricultores deben practicar el aumento de la productividad del suelo a través del uso balanceado de las fuentes locales y externas de nutrientes, manteniendo o mejorando la fertilidad del suelo, sin dañar el medio ambiente. Es por cual la importancia de la aplicación de nitrógeno por fertilizantes. Según Aparacana (2008), el biol aumenta el nitrógeno amoniacal por lo que tiene mejor disponibilidad de nitrógeno y mejor absorción comparada con el estiércol fresco o compost, siendo así un fertilizante de calidad.

2.4.2 HORMONAS VEGETALES DE LA PLANTA

Las hormonas vegetales o fitohormonas se denominan como fitorreguladores del desarrollo producidas por las plantas que a bajas concentraciones regulan los procesos fisiológicos, además de promover el desarrollo físico de las plantas. (Aparcana, 2008). Las cinco principales hormonas vegetales que estimulan la formación de nuevas raíces y su fortalecimiento son: adeninas, purinas, auxinas, giberelinas y citoquininas. Estas hormonas además inducen la floración, tienen acción fructificante, estimulan el crecimiento de tallos, hojas, etc (Aparcana, 2008).

Según Aparcana (2008), el biol cuenta con estas fitohormonas (Ver cuadro 14) gracias a los desechos del metabolismo de las bacterias típicas de la digestión anaerobia, caso que no presenta en el compost. Gracias a este beneficio del biol hace que se requiera menor cantidad de fertilizantes minerales.

Cuadro 14: Composición bioquímica del biol

| Componentes | Cantidad |
|----------------------------------|---------------------|
| Ácido indol acético (ng/g) | 9.0 |
| Giberelina (ng/g) | 8.4 |
| Purinas (ng/g) | 9.3 |
| Citoquininas | No detectado |
| Tiamina (Vit B1) (ng/g) | 259.0 |
| Riboflavina (Vit B2) (ng/g) | 56.4 |
| Adenina | No detectado |
| Ácido fólico (ng/g) | 6.7 |
| Ácido pantoténico (ng/g) | 142.0 |
| Triptófano (ng/g) | 26.0 |
| Cianocobalamina (vit B12) (ng/g) | 4.4 |
| Piridoxina (vit B6) (ng/g) | 6.6 |

FUENTE: Aparcana, 2008

Estudios científicos comprobaron que las plantas tratadas con materia orgánica son muy poco atacadas por insectos y enfermedades. Todos los factores que intervienen en el metabolismo de la planta, pueden disminuir o aumentar su resistencia, los factores que mejoran la resistencia de la planta son (Chaboussou, 1987):

- Especie o variedad de la planta: Adaptación genética de la planta al lugar del cultivo.
- Suelo: Con buena fertilidad natural y rico en materia orgánica.
- **Abonos orgánicos**: La materia orgánica aplicada al suelo aumenta la resistencia de los cultivos debido a sus compuestos orgánicos y por su diversidad en macro y micronutrientes.
- Abonos minerales de baja solubilidad Siempre que sean aplicados de manera correcta.
- Defensas naturales: Productos como **biofertilizantes**, cenizas, suero de leche que ejercen una acción benéfica sobre el metabolismo de las plantas.

La proteosíntesis (formación de proteínas) cuanto más intensa es, menor será la sobra de aminoácidos libres, azúcares y minerales solubles y por lo tanto menor será el riesgo ser atacada por hongos, bacterias, ácaros, nematodos e insectos. Además, los productos como cenizas, biofertilizantes y suero de leche, ejercen una acción benéfica sobre el metabolismo de las plantas, aumentando la proteosíntesis. Esto ocurre debido a las sustancias orgánicas y a la diversidad de micronutrientes que tienen (Chaboussou, 1987). Lo contrario ocurre con agrotóxicos, esto disminuye respiración, transpiración y fotosíntesis de la planta, reduciendo la proteosíntesis perjudicando la resistencia de las plantas

La protección de las plantas por aumento de la formación de proteínas es mediante el abonamiento del suelo con materia orgánica para aumentar la absorción de los minerales por las raíces de las plantas. Es la mejor manera de estimular la proteosíntesis en las plantas y con ello aumenta su resistencia al ataque de insectos, ácaros, nemátodos y microorganismos. (Chaboussou, 1987).

2.4.3 FERTILIZACION FOLIAR DEL BIOL

En el punto 2.3.3 se describió las aplicaciones del biol que son aplicación directa al suelo, a la semilla y aplicación foliar. Según el ADES (2008), la fertilización foliar tiene mayor ventaja porque acelera el crecimiento de las plantas e incrementa los rendimientos.

La Fertilización Foliar consiste en la aplicación de una solución nutritiva al follaje de las plantas para corregir deficiencias específicas de nutrientes, por lo cual, tiene mayor eficiencia en la absorción de nutrientes en comparación de la fertilización al suelo y permite la aplicación de cualquiera de los nutrientes que las plantas necesitan para lograr un óptimo rendimiento. Permite el aporte de nutrientes cuando existen problemas de fijación en el suelo.

Según estudios agronómicos indican que las hojas pueden actuar como superficies para la absorción de fertilizantes foliares y otros productos sistemáticos, la efectividad varía con la especie y las sustancias involucradas, además de la duración del proceso de absorción fluctúan en un amplio rango (Vinicio 2002, citado por Peralta, 2010).

La aplicación foliar ha demostrado ser un excelente método para abastecer los requerimientos de los micronutrientes (zinc, hierro, cobre, manganeso, boro y molibdeno), mientras que simultáneamente puede suplementar parte de los requerimientos de N-P-K-Ca-Mg-S requeridos en los períodos de estado de crecimiento críticos del cultivo.

Es la mejor manera de aportar micronutrientes a los cultivos. Los macronutrientes, como se requieren en grandes cantidades, presentan la limitación que la dosis de aplicación no pueden ser tan elevadas, por el riesgo de fitotoxicidad, además de requerir un alto número de aplicaciones determinando un costo que lo haría impracticable para la mayoría de los cultivos. En cambio, la aplicación de micronutrientes que se requiere en pequeñas cantidades, se adecua perfectamente junto con la aplicación complementaria de macronutrientes.

Los nutrientes que se aplican se absorben con una velocidad notablemente diferente. El nitrógeno tiene mayor rapidez de absorción necesitando de 0.5 a 2 horas para que el 50%

de lo aplicado ingrese a la planta (Peralta, 2010), los demás nutrientes requieren tiempos diferentes como se observa en el cuadro 15.

Cuadro 15: Velocidad de absorción foliar

| Nutriente | Tiempo para que se absorba el 50% del producto |
|------------------|---|
| N (urea) | 0.5 – 2 h |
| P | 5 – 10 días |
| K | 10 – 24 h |
| Ca | 1 – 2 días |
| Mg | 2 – 5 h |
| S | 8 días |
| Mn | 1 – 2 días |
| Zn | 1 – 2 días |
| Mo | 10 – 20 días |
| Fe | 10 – 20 días |

FUENTE: Bertsch, 1995 citado por Salas, 2002 citado por Peralta (2010)

2.5 BIOENSAYOS DE TOXICIDAD

2.5.1 DEFINICIÓN

El bioensayo de toxicidad es una prueba estática de toxicidad aguda (120 horas de exposición) en las que se evalúan los efectos fitotóxicos de compuestos puros o de mezclas complejas en el proceso de germinación de las semillas y en el desarrollo de las plántulas durante los primeros días de crecimiento (Sobrero *et al*, 2004 citado por Castillo, 2004). La evaluación de los efectos fitotóxicos se determina por la inhibición en la germinación y la inhibición en la elongación de la radícula y del coleóptilo (caso maíz) como se aprecia en la Figura 10.

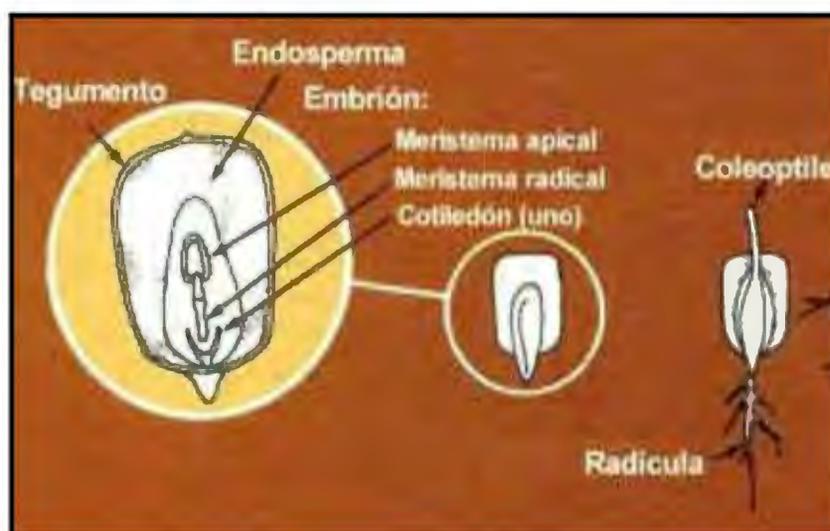


Figura 10: Germinación de la semilla de maíz

FUENTE: Agricultura de Precisión de INTA. 2006

El efecto tóxico de compuestos solubles presentes en niveles de concentración permite evaluar el efecto en la elongación de la radícula y del hipocotilo de las plántulas, estas concentración pueden ser tan bajas que no son suficientes para inhibir la germinación, pero que sin embargo pueden retardar o inhibir completamente los procesos de elongación. De esta manera, la inhibición en la elongación de la radícula e hipocotilo constituyen indicadores subletales muy sensibles para la evaluación de efectos biológicos en vegetales (Sobrero *et al*, 2004 citado por Castillo, 2004).

Este bioensayo de toxicidad ha sido recomendado y aplicado por diferentes organismos de protección ambiental para la evaluación ecotoxicológica de muestras ambientales y compuestos puros, además de la evaluación del efecto fitotóxico de plaguicidas sobre especies no blanco, necesarios para el registro de estos compuestos (OECD, 1984; Wang, 1987; USEPA, 1989 citado por Castillo, 2004).

2.5.2 GERMINACIÓN DE LAS SEMILLAS

La semilla es una fuente de nutrientes para que la planta obtenga la mayor parte de los nutrientes en sus primeras etapas de su desarrollo, pero la reserva de nutrientes de la semilla se agota por lo cual la planta dependera de los nutrientes que es capaz de obtener del suelo o complementos que se añaden al mismo (Simpson, 1991 citado por Peralta, 2010). Así, el proceso de germinación es la recuperación de la actividad biológica por parte de la semilla para esto se debe dar una serie de condiciones ambientales favorables como un sustrato húmedo, suficiente disponibilidad de oxígeno y una temperatura adecuada para los procesos metabólicos y el desarrollo de la plántula (Peralta, 2010). En el Cuadro 16 se muestran las etapas de la germinación de las semillas

Cuadro 16: Etapas de germinación de semillas

| Etapas | Sucesos |
|--|---|
| Primera etapa Hidratación o absorción | El agua en el embrión hidrata las proteínas y otros coloides. |
| Segunda etapa Formación o activación de enzimas | Provoca el aumento de la actividad metabólica. |
| Tercera etapa Elongación de las células de la radícula | Elongación de las células de la radícula seguida por la emergencia de la radícula desde la cubierta de la semilla, es la germinación propiamente dicha. |
| Cuarta etapa | Crecimiento de la plántula. |

Fuente: Salisbury, 2000 citado por Peralta, 2010.

Los tipos de germinación son dos:

- a. **Germinación epigea:** las plántulas epigeas, los cotiledones emergen del suelo debido a un considerable crecimiento del hipocótilo (porción comprendida entre la radícula y el punto de inserción de los cotiledones). Luego, en los cotiledones se diferencian los cloroplastos y por último comienza el desarrollo del epicótilo (Figura 11). Este tipo de germinación presentan las semillas de frijoles, lechuga, ricinlo, etc.

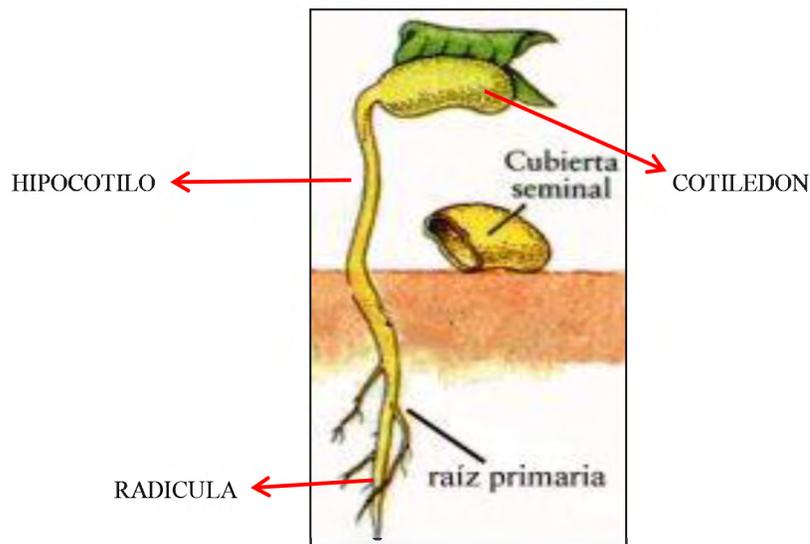


Figura 11: Germinación Epigea

FUENTE: Meza. 2011

- b. **Germinación hipogea:** las plántulas hipogreas, los cotiledones permanecen enterrados; únicamente la plúmula atraviesa el suelo. El hipocótilo es muy corto. A continuación, el epicótilo se alarga, apareciendo las primeras hojas verdaderas, que son, los primeros órganos fotosintetizadores de la plántula (Figura 12). Este tipo de germinación lo presentan las semillas de los cereales (trigo, maíz, cebada, etc.), haba, robles, etc.

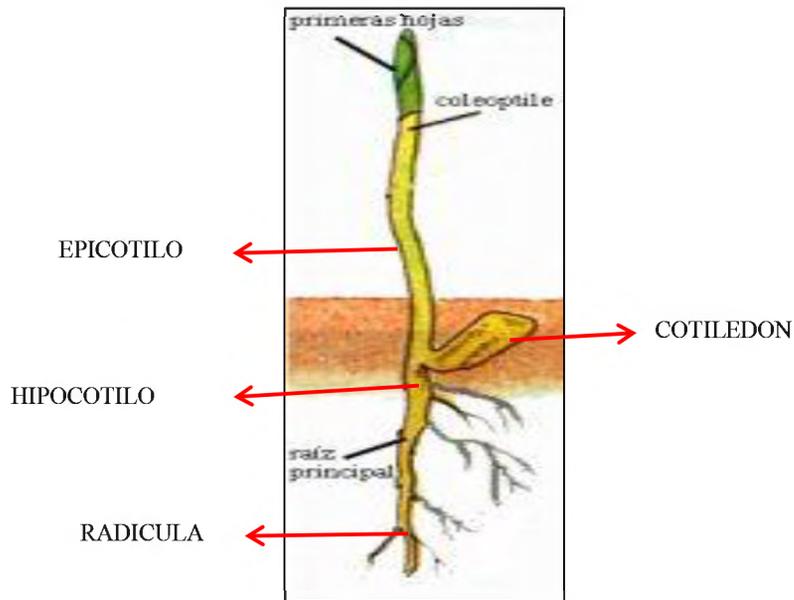


Figura 12: Germinación hipogea

FUENTE: Meza. 2011

Durante el período de germinación y los primeros días de desarrollo de la plántula ocurren numerosos procesos fisiológicos y la presencia de una sustancia tóxica puede interferir alterando la supervivencia y el desarrollo normal de la planta, por lo cual es una etapa de gran sensibilidad frente a factores externos adversos, otro punto es que el éxito o aptitud de una plántula para establecerse en un ambiente determinado es de gran importancia para garantizar la supervivencia de la especie. (Sobrero y Ronco, 2004 citado por Castillo, 2004).

La evaluación del desarrollo de la radícula y del hipocotilo son los indicadores representativos para determinar la capacidad de establecimiento y desarrollo de la planta, una de las metodologías más significativas es el bioensayo de toxicidad aguda en la germinación de semillas.

2.5.3 METODOLOGIA DE LA PRUEBA DE BIOENSAYOS

La prueba de bioensayo de toxicidad con semillas de lechuga de la especie *L. sativa* L realizada por Sobrero y Ronco (Castillo, 2004) tomaron los siguientes pasos:

- a. Colocar en cada caja Petri un disco de papel de filtro
- b. Marcar correctamente cada caja con la dilución correspondiente, así como la fecha y hora de inicio y término del bioensayo
- c. Saturar el papel de filtro con 4 o 5 mL de la dilución evitando que se formen bolsas de aire
- d. Con la ayuda de una pinza, colocar cuidadosamente 20 semillas, dejando espacio suficiente entre las semillas para permitir la elongación de las raíces.
- e. Tapar las cápsulas y colocarlas en bolsas plásticas para evitar la pérdida de humedad.
- f. Incubar por 120 horas (5 días) a una temperatura de 22 ± 2 °C
- g. Realizar tres repeticiones para cada dilución ensayada.

La preparación de las dosis de dilución se recomienda preparar un mínimo de 5 o 6 diluciones de la muestra o compuesto a estudiar de manera que se obtengan valores de toxicidad intermedios entre el 100 y 0%, para la preparación de la serie de diferentes concentraciones se recomienda usar un factor de dilución de 0.3 que permite evaluar toxicidad mediante 5 diluciones de 100, 30, 10, 3 y 1%, o usar 0.5 cuyas diluciones son 100, 50, 25, 12, 6, 3 y 1.5% pero se obtiene mayor precisión en los resultados (Sobrero *et al*, 2004 citado por Castillo, 2004).

Las condiciones recomendadas para las pruebas de toxicidad aguda por Sobrero (Castillo, 2004) se observa en el Cuadro 17.

Cuadro 17: Condiciones recomendadas para las pruebas de toxicidad aguda

| Tipo de ensayo | Estático |
|----------------------------------|--|
| Pre enfriado de las semillas | 5 ° C y 10 ° C durante 7 días. |
| Temperatura | 20 ± 2 °C |
| Calidad de luz | Oscuridad |
| Volumen de la solución de prueba | 4 mL |
| Agua de dilución | Agua dura reconstituida (agua destilada) |
| Número de semillas por réplica | 20 |
| Número de réplicas | 3 |
| Duración de la prueba | 120 horas (5 días) |

FUENTE: Sobrero *et al*, 2004 citado por Castillo, 2004

Para el caso de semillas de maíz estas no necesitan refrigeración porque son tolerantes a la temperatura del ambiente, además por su tamaño solo es necesario 10 semillas por placa. (Meza, 2011).

La evaluación de las plántulas de acuerdo a una serie de normas que evalúan las plántulas producidas a partir de ellas bajo condiciones adecuadas de germinación determinada por la Norma ISTA (Meza, 2011).

Las plántulas normales se consideran como a aquellas que tengan el sistema radicular intacto o con ligeros defectos como alguna decoloración o mancha como se observa en la Figura 13.



Figura 13: Partes de una plántula normal de maíz germinada

FUENTE: Meza, 2011

En las plántulas anormales, la raíz primaria y las raíces secundarias son defectuosas e insuficiente, por ejemplo pueden ser raquílicas, atrofiadas, rotas, ausentes o podridas (Meza, 2011). El sistema apical puede encontrarse formando espirales, retorcidos o podridos (ver Figura 14).



Figura 14: Plántulas anormales de maíz y semillas muertas

FUENTE: Meza, 2011

La medida de los puntos finales de evaluación de la fitotoxicidad se evalúa comparando el efecto generado en los organismos expuestos a la muestra con respecto a la respuesta en los organismos del control, sujetos a las mismas condiciones de ensayo (Sobrero *et al*, 2004 citado por Castillo, 2004).

Terminado el período de exposición (120 horas), se procede a cuantificar el efecto en la germinación y la elongación de la radícula y del hipocotilo. (Sobrero *et al*, 2004 citado por Castillo, 2004).

Cálculo del Índice de Germinación

El cálculo del índice de germinación (IG) según el test de Sobrero (Castillo, 2004), es de la siguiente manera:

$$\text{PGR} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de semillas germinadas en el extracto}}{\text{N}^\circ \text{ de semillas germinadas en el testigo}} \times 100$$

$$\text{CRR} = \frac{\text{Elongación de radículas en el extracto}}{\text{Elongación de radículas en el testigo}} \times 100$$

$$\text{IG} = \frac{\text{PGR} \times \text{CRR}}{100}$$

Donde:

PGR: Porcentaje de Germinación Relativo.

CRR: Crecimiento de Radícula Relativo.

IG: Índice de Germinación

2.5.4 CARACTERISTICAS DEL MAIZ

En el Perú, el maíz se siembra en las tres regiones naturales, los tipos de maíz que predominan en el país son el maíz amarillo duro en la costa y selva, y el maíz amiláceo en la sierra. La clasificación botánica del maíz se observa en el cuadro 16. (Pavón, 2003).

Cuadro 18: Clasificación botánica del maíz

| | |
|---------------|--|
| Grupo d | FANERÓGAMAS (plantas con flores). |
| 13 ° división | SPERMAFITAS (plantas con una sola hoja cotiledonar). |
| Subdivisión | ANGIOSPERMAS (plantas con óvulos encerrados en el ovario). |
| Clase | MONOCOTILEDÓNEA (plantas con un solo cotiledón). |
| Orden | GUMIFLORAS. |
| Familia | GRAMÍNEAS. |
| Especie | Zea mays. |

FUENTE: Pavón, 2003

El buen desarrollo de la fase siembra-emergencia es esencial para el establecimiento del cultivo, la emergencia es un término agronómico que designa la aparición fuera del suelo del epicotilo, ordinariamente del coleoptilo, debido a la fuerte capacidad de alargamiento del mesocotilo y la subsiguiente aparición de las hojas (Pavón, 2003). La finalización de esta etapa corresponde con el final de la fase heterótrofa, la planta se sustenta de las reservas de la semilla, pasando después a una fase de transición en la que la energía procede tanto de las reservas del endospermo de la semilla como de la fotosíntesis de la joven plántula. Luego la planta inicia su fase autótrofa (Pavón, 2003)

Los factores ambientales que actúan principalmente en esta fase es la temperaturas entre 10 y 30 °C, la limitación al exceso de agua es perjudicial a la supervivencia de las plántulas, la iluminación contribuye al cambio a la vía autótrofa de joven planta y la localización del abono demasiado próximo a la semilla produce un efecto osmótico y perjudica la germinación (Pavón, 2003).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 GALLINAZA DE LA GRANJA DE AVES DE LA UNALM

3.1.1 SELECCIÓN DE LOS ESTIERCOLES EN BASE AL TIPO DE CRIANZA DE AVES

Las muestras de gallinaza se colectaron de la Granja de Aves de la UNALM y se seleccionaron estiércoles provenientes de los galpones de crianza de gallinas en jaula y piso. Se registró la información del tipo de alimentación, edad, especie y manejo de los residuos de las aves.

La población de aves de la Granja de Aves de la UNALM cuenta con un aproximado de 3000 aves que está formada por aves como gallinas ponedoras, pollos de carne y codornices. Respecto a la crianza de gallinas se tiene dos tipos, la crianza en jaula y en cama, cuyo tipo de alimentación es similar basado en maíz, soya, harina de pescado, afrecho, carbonato de calcio, vitaminas, minerales y aditivos. El tipo de manejo del estiércol de las gallinas es diferente, en caso de crianza en jaula es un manejo semanal siendo muy diferente al manejo de gallinas en piso que es cuando termina su producción. El uso final de los estiércoles de gallina de los dos tipos de crianza es la venta como abono.

Los tratamientos quedaron definidos por los dos tipos de crianza; gallinaza en jaula, gallinaza en piso y la mezcla de ambas. Los materiales usados para la recolección de las muestras fueron:

- 06 Bolsas de ziploc de 1 kg de capacidad
- Bolsas de rafia
- Espátulas
- Guantes de jebe
- Mascarillas

La toma de muestra de gallinaza se realizó mediante la metodología asistemática (muestreo al azar), las muestra recolectadas fueron tomadas de diferentes puntos al azar del área de cada galpón. Luego se procedió a la mezcla de cada muestra recolectada, de ella se tomó aproximadamente 1.5 Kg de gallinaza de piso, jaula y la mezcla de ambas en proporciones iguales. Estas muestras fueron colocadas en bolsas de ziploc etiquetadas respectivamente y transportadas al Laboratorio de Ecología Microbiana Mariano Tabusso para los análisis microbiológico (500gr de la muestra) y al Laboratorio de Suelos (LAPSF) para análisis agronómico (1kg de la muestra).

3.1.2 CARACTERIZACION DE LAS MUESTRAS

Se tomó 1kg de gallinaza de jaula y piso cada una para su caracterización en el laboratorio de Energías Renovables. Una vez en el laboratorio, la gallinaza de piso fue tamizada a través de una malla de 4mm para su homogenización y separación de las impurezas como plumas, cáscaras de huevo y residuos de maíz. La gallinaza de jaula, por ser material fresco, se procedió a separar manualmente las impurezas. Luego se pesó cada material para sacar un aproximado de contenido de impurezas por estiércol como se aprecia en el Cuadro 19.

Cuadro 19: Caracterización de estiércol de gallina en piso y jaula

| ESTIERCOL FRESCO EN PISO | Porcentaje % | ESTIERCOL FRESCO EN JAULA | Porcentaje % |
|---------------------------------|---------------------|----------------------------------|---------------------|
| Estiércol | 76.61 | Estiércol | 82.73 |
| Plumas | 0.22 | Plumas | 0.27 |
| Material absorbente* | 22.60 | Animales detritívoros. | 15.18 |
| Otros residuos | 0.57 | Otros residuos | 0.82 |

*viruta

FUENTE: Elaboración propia

3.2 CONSTRUCCION DE LOS PROTOTIPOS DE LOS BIODIGESTORES TIPO BATCH

Los prototipos son biodigestores tipo batch de una sola carga, la descarga se efectúa una vez que ha dejado de producir gas. Se construyó seis prototipos con contenedores transparentes de 8 L de capacidad operacional. Estos contenedores son sellados herméticamente para evitar las fugas de biogás.

Normalmente se construye con tanques herméticos con una salida de gas conectada a un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás. Para esta experimentación el almacenamiento del gas solo fue referencial pues el objetivo principal es el estudio de la calidad de biol.

3.2.1 MATERIALES

El sistema de digestión de las muestras se diseñó para un volumen de 8 litros de capacidad, por lo tanto los materiales empleados son a pequeña escala. Dichos materiales para la construcción del sistema experimental se listan en el Cuadro 20.

Cuadro 20: Materiales y equipos de construcción

| MATERIALES | UNIDAD |
|--------------------------------|---------------|
| Bidones de 8 litros | 6 u. |
| Manguera de 3/8 pulg | 12 m |
| Llaves de paso y abrazadera | 6 u. |
| Uniones de polipropileno | 12 u. |
| Cinta teflón | 2 u |
| Bolsas de orina | 6 u. |
| Termistores | 12 u. |
| Silicona y Pistola de silicona | 10 barras |
| Guantes quirúrgicos | 4 caja |
| Tela de mosquetero | 1m2 |
| Bolsas ziplox | 6 u. |

FUENTE: Elaboración propia

3.2.2 PROCEDIMIENTO PARA CONSTRUCCIÓN DE LOS BIODIGESTORES

Los pasos que se siguieron para la construcción de los biodigestores son los siguientes:

- a. Se hicieron dos orificios paralelos en el tercio inferior del contenedor. A estos dos orificios se conectó herméticamente el mecanismo para medir temperatura, esta consta de dos termistores calibrados en cada uno, sellados con silicona.
- b. Se abrió un tercer orificio en la parte inferior del contenedor se conectó herméticamente la llave de salida del líquido para medir pH.
- c. Se abrió un orificio en la parte superior de la tapa del contenedor, por este orificio se conectó la manguera para el gas hasta las bolsas de almacenamiento.
- d. A la mitad de la manguera para conducción de gas se colocó una manguera contenida viruta de hierro para filtrar el ácido sulfhídrico.
- e. Se unieron todas las partes utilizando sicaflex y silicona para evitar las fugas de biogás.

En la Figura 15 se observa el biodigestor cerrado herméticamente.



Figura 15: Biodigestor tipo Bach.

En la Figura 16 se aprecia el esquema del biodigestor empleado para la investigación.

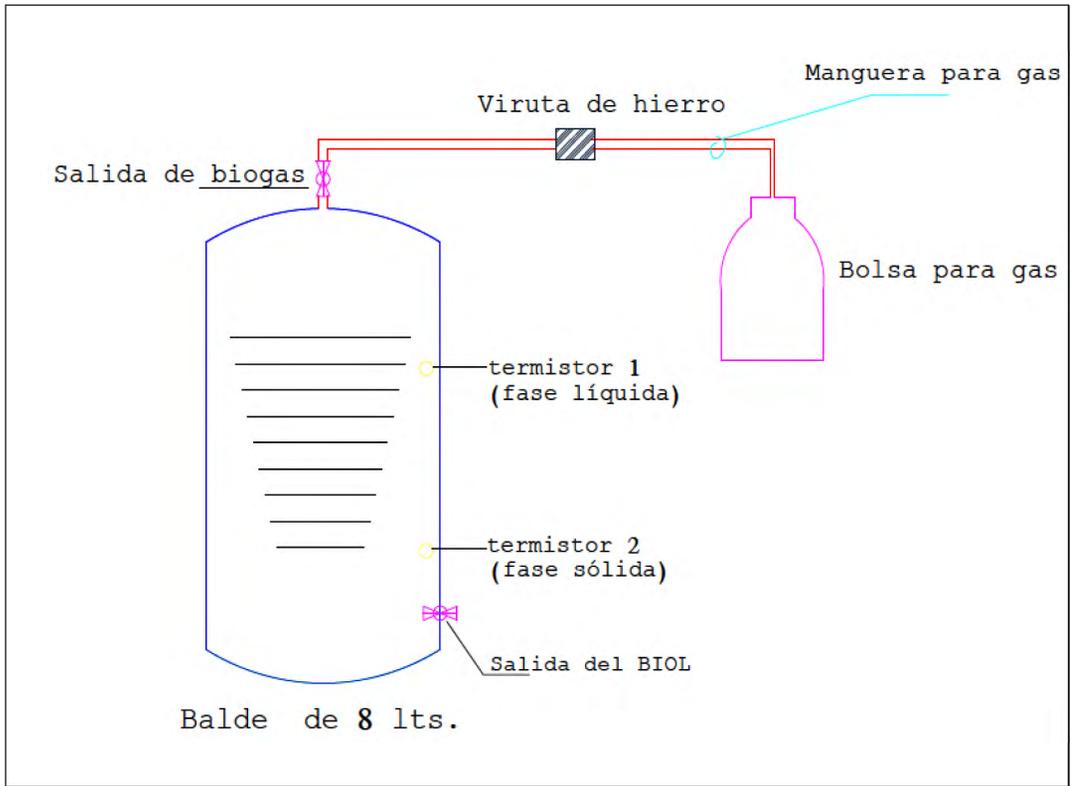


Figura 16: Esquema del biodigestor tipo batch

FUENTE: Elaboración propia

3.2.3 VARIABLES OPERACIONALES

Las variables operacionales que fueron medidas en tres momentos: antes de la digestión (muestra estiércol fresco), durante el proceso de digestión anaerobia y en el material digerido extraído de los biodigestores tal como se aprecia en el Cuadro 21.

Cuadro 21: Medición de las variables operacionales

| | Muestra del estiércol fresco | Durante la digestión anaerobia | Material digerido (biol) |
|-------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| Variables operacionales | Análisis microbiológico | pH | Análisis microbiológico |
| | Análisis agronómico | Temperatura | Análisis agronómico |

FUENTE: Elaboración propia

3.2.4 REACTIVOS Y EQUIPOS

Los materiales usados para la calibración y medición de las muestras fueron los siguientes:

- Solución buffer de pH 7
- Solución buffer de pH 4
- Potenciómetro, Hanna instruments HI 8424 microcomputer
- Conductímetro
- Multímetro fluke
- Estufa eléctrica
- Balanza electrónica

3.2.5 MEDICIÓN DE PH

El equipo fue calibrado usando las soluciones buffer de pH 4 y pH 7. La medición de pH fue a través del método potenciómetro directo, se introduce el electrodo del potenciómetro en la muestra. La muestra se diluyó en una solución 1/5 con agua destilada, luego de agitar durante 15 minutos se tomó la medición. Esta medición se valida con la norma técnica de medición de pH para compost TMECC 4.11-A (Test Methods for the Examination of Composting and Compost)

3.2.6 MEDICIÓN DE TEMPERATURA

La medición de temperatura fue a través de un multímetro conectado a termistores, estos son incorporados dentro del sistema de digestión. Los termistores son calibrados y validados mediante la prueba estadística de Fisher. El multímetro mide la resistencia del sistema que mediante una fórmula obtenida de la calibración de los termistores se convierte a temperatura.

3.2.7 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Mediante el método de conductimetría cuya medición fue directa, se introdujo el electrodo del conductímetro en la parte líquida de las muestras previa calibración con el buffer de solución salina patrón 1433 uS/cm. La muestra se diluyó en una solución 1/5 con agua destilada, luego de agitar durante 15 minutos se tomó la medición. Esta medición se valida con la norma técnica de medición de conductividad eléctrica para compost TMECC 4.11-A (Test Methods for the Examination of Composting and Compost)

3.2.8 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

El análisis microbiológico del estiércol fresco de gallina y biol fue realizado en el Laboratorio de Ecología Microbiana Mariano Tabusso, siguiendo la metodología de la International Commission on Microbiological Specifications for Foods ICMSF (1983). El análisis microbiológico de todos los tratamientos fueron realizados en el mismo laboratorio, este análisis incluyó enumeración de coliformes totales y fecales.

3.2.9 ANÁLISIS AGRONÓMICO

Los análisis de la composición nutricional y fisicoquímica de los estiércoles frescos y bioles fueron realizados en el Laboratorio de Análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes (LASPAF) de la facultad de agronomía de la UNALM. Para el estiércol fresco se evaluó el pH, conductividad eléctrica, materia orgánica en solución, concentración de

nitrógeno total, fósforo total, potasio total, calcio, magnesio y sodio. Para el biol se evaluó los mismos parámetros que el estiércol más micronutrientes como Hierro, cobre, zinc, manganeso y boro. El Cuadro 22 detalla los métodos de análisis para cada parámetro que fue evaluado.

Cuadro 22: Métodos empleados en el análisis de la materia orgánica

| Parámetro | Método de Análisis |
|----------------------------------|--|
| pH | Potenciometría |
| CE | Conductimetría |
| Materia orgánica | Walkley y Black o Dicromato de potasio |
| Nitrógeno Total | Kjeldahl |
| Fósforo | Amarillo del vanadato Molibdato |
| Potasio, calcio, magnesio, sodio | Espectrometría de Absorción Atómica |
| Hierro, cobre, zinc, manganeso | Espectrometría de Absorción Atómica |
| Boro | Curmina |

FUENTE: Laboratorio de Análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes. 2011

3.3 CÁLCULOS PARA LA CARGA DEL BIODIGESTOR

3.3.1 CÁLCULO DE CARBONO ORGÁNICO

Según los resultados de % de materia orgánica de las muestras analizadas en el Laboratorio de Análisis de suelo (LASPAF) se calculó la concentración de carbono mediante la siguiente fórmula:

$$\%C = \frac{\%materiaorganica}{1.724} \dots(1)$$

3.3.2 RELACIÓN CARBONO – NITRÓGENO C/N

La relación C/N se calculó mediante una operación matemática básica, se dividió el resultado obtenido en los laboratorios de carbono total entre el nitrógeno total.

$$Relacion(C/N) = \frac{Cmuestra}{Nmuestra} \dots(2)$$

Si la relación C/N de dos o tres muestra es menor a 30 (valor óptimo para el proceso de digestión), se tiene que elevar la relación C/N de cada sustrato, por lo cual se agrega chala de maíz. Las ecuaciones para obtener la relación C/N=30 para cada sustrato son:

Datos necesarios:

C1 = % carbono del maíz chala

C2 = % carbono del estiércol de gallina

N1 = % nitrógeno del maíz chala

N2 = % nitrógeno del estiércol de gallina

X1 = % de maíz

X2 = % de estiércol de gallina

Calculamos la proporción de los materiales de mezcla:

$$Cs = \frac{C_1X_1 + C_2X_2}{N_1X_1 + N_2X_2} = 30 \dots(3)$$

Dónde: s= tipo de sustrato

3.3.3 DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES

Se determinó los sólidos totales de cada muestra mediante el método 2540B del Standard methods of examination of water and wastewater (APHA 1998). Los sólidos totales se calculó mediante la diferencia entre el peso del residuo seco, secado a 105°C en una estufa durante 12 horas, y el peso de la cápsula. Se tomó una muestra de 5 g de estiércol.

$$mgST / L = \frac{(A - B)X1000}{VolumenMuestra} \dots(4)$$

Dónde: A = peso del residuo seco

B = peso de cápsula

Según Soria, *et al* (2000), el porcentaje óptimo de sólidos en la mezcla a digerir es de 7 a 10. Para esta investigación se tomara una concentración del 10% de sólidos totales de la masa de digestión y el volumen útil del 80% del digestor, se tiene la siguiente ecuación:

$$10\% = \frac{ST_1X_1 + ST_2X_2}{80\%(volumentotal)} \dots(5)$$

Dónde: ST₁= % sólidos totales del estiércol

ST₂= % sólidos totales de la chala molida

3.3.4 RELACION MATERIA ORGANICA - AGUA

Se determinó las diluciones (peso de materia seca y peso de materia húmeda) para la carga de cada sistema. Según Restrepo (2001), la relación de materia orgánica – agua varía de 1/3 a 1/5 siendo más recomendable utilizar un 1/4. Se realizó tres tratamientos por duplicado cada tipo de gallinaza:

- Gallinaza jaula 1: dilución gallinaza de jaula + chala de maíz
- Gallinaza jaula 2: dilución gallinaza de jaula + chala de maíz
- Gallinaza piso 1: dilución gallinaza de piso + chala de maíz
- Gallinaza piso 2: dilución gallinaza de piso + chala de maíz
- Gallinaza mezcla 1: dilución gallinaza mezcla + chala de maíz
- Gallinaza mezcla 2: dilución gallinaza mezcla + chala de maíz

3.4 MONITOREO DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DE LA TEMPERATURA Y pH DURANTE EL PROCESO DE DIGESTION ANAEROBICA

Los ensayos se inician con la carga de los biodigestores que incluye la adición del sustrato, mezcla completa y sellado. Los análisis que se realizaron durante el proceso de digestión fueron pH y temperatura. El monitoreo de la variación de temperatura se realizó durante 90 días y la variación de pH durante los 42 primeros días su medición fue tres a cuatro veces por semana, luego fue una vez por semana para no interferir en el proceso de digestión en reposo del sistema.

La medición del pH en las primeras semanas del proceso de digestión consistió en extraer del biodigestor muestras de 2ml de efluente que se diluyó con agua destilada en relación 1/5 según el Test Methods for the Examination of Composting and Compost -TMECC 4.11-A, luego se agitó por 15 minutos en un agitador magnético para medir el pH. En el proceso de digestión avanzada, la medición de pH fue en forma directa sin necesidad de diluir las muestras. La medición de temperatura se realizó mediante un multímetro conectado a termistores ubicados en la fase líquida y sólida del biodigestor.

3.5 SELECCIÓN DE LOS MEJORES TRATAMIENTOS

Los criterios de selección de los tratamientos según Peña (2008) durante el sistema de biodigestión son:

- El valor de pH mayor a 4.5
- No presentar características de olores desagradables
- La apariencia de los tratamientos no debe presentar formación de capas de microorganismos, moho o levaduras.
- Libre de microorganismos
- No presencia de burbujas en la superficie ni en la cubierta de plástico
- No coloraciones verdosas y blanquecinas en la superficie en contacto con la cubierta de plástico
- Selección por análisis estadístico según el análisis de varianza.

Para la selección de los mejores tratamientos se consideró todos los puntos mencionados anteriormente.

3.5.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS MEJORES TRATAMIENTOS

Posteriormente a la selección de los mejores tratamientos se procedió a la caracterización de estos, mediante los análisis microbiológicos para asegurar que el biol obtenido esté libre de coliformes totales y fecales, cuyo análisis se llevó a cabo en el Laboratorio de Ecología Microbiana Marino Tabusso

Asimismo, se caracterizó el contenido de macronutrientes, micronutrientes y características fisicoquímicas para determinar su composición como abono. Estos análisis se realizaron en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía.

3.6 PRUEBA DEL EFECTO DEL BIOL EN SEMILLAS DE MAIZ

Luego de evaluar los resultados de los análisis microbiológicos y agronómicos se procedió a realizar el ensayo del efecto del biol en la germinación de semillas de maíz, se consideró usar esta planta por la rápida germinación.

Los bioensayos de germinación se realizaron según el test de Sobrero y Ronco (2004) que es una de las metodologías para el cálculo del índice de fitotoxicidad de compuestos puros solubles (calidad de aguas), además de lixiviados de suelos, sedimentos, lodos u otras matrices sólidas. A través de la prueba de germinación se evaluó el efecto de la adición de biol en las plántulas de las semillas sobre el índice de germinación (IG) de semillas de maíz y la longitud de la radícula de cada una de las plántulas.

Las condiciones usadas para evaluar el efecto del biol en la germinación, crecimiento y desarrollo de las plántulas de maíz en sus primeros estadios fueron (Sobrero et al, 2004 citado por Castillo, 2004):

- Temperatura, 22 +/- 2°C
 - Calidad de luz, en la oscuridad
 - Tiempo de duración, 120 h
 - Efecto medio: Inhibición en elongación de la radícula e hipocotilo
- Inhibición en la germinación
- Resultado final: inhibición media (CI) 50 y 0%
 - Aceptabilidad de los resultados: germinación > 90%

Se usaron en total 660 semillas de maíz, las cuales fueron distribuidas en 66 recipientes de plástico transparente con 10 semillas cada una, se realizó tres repeticiones por tratamiento para cada tipo de muestra. Los tratamientos ensayados tuvieron diferentes dosis de Biol diluidos con agua destilada, mientras que al control positivo se le aplicó solamente agua destilada. Se tomó como referencias la dosificación del fastbiol de Peralta (2010):

- D1: Tratamiento control (agua destilada)
- D2: Dilución 0.1/100
- D3: Dilución 1/100
- D4: Dilución 5/100
- D5: Dilución 7.5/100
- D6: Dilución 8.8/100
- D7: Dilución 10/100
- D8: Dilución 50/100

La evaluación del efecto de elongación de la radícula e hipocotilo se midieron utilizando una hoja milimetrada para cada una de las plántulas de maíz de cada tratamiento y control. Para la medición de la elongación de radícula se considera desde el nudo (transición entre radícula y el coleoptilo) hasta el ápice radicular.

Luego de realizadas las mediciones se procedió a los cálculos del Índice de germinación de cada tratamiento teniendo como base el tratamiento control.

3.6.1 MATERIALES

- Placas de plástico transparente
- Papel filtro de filtración rápida
- Pipetas de 10 ml y 1 ml
- Agua destilada
- Vasos de precipitación y probetas graduadas
- Pinzas, plumones de tinta indeleble y tijeras
- Papel milimetrado
- Semillas de maíz PM 701 del Programa de Maíz de la UNALM

3.6.2 PARTE EXPERIMENTAL

Se realizará el método de Sobrero y Ronco adaptado para biol: (Alarcón, 2004)

1. Se colocó el papel filtro normal en el fondo del vaso precipitado.
2. Se adicionó la dilución establecida en cada recipiente.
3. Se colocó 10 semillas de maíz por recipiente.
4. Se instaló un tratamiento control con 1ml de agua destilada por tratamiento.
5. Se evaluó el porcentaje de germinación y longitud de la radícula

Previo al cálculo de índice de germinación (IG) se calcularon dos índices: el porcentaje de germinación relativo (PGR) y crecimiento de radícula relativo (CRR) de cada tratamiento teniendo al tratamiento control como testigo (Peralta, 2010).

$$\text{PGR} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de semillas germinadas en el extracto} \times 100}{\text{N}^\circ \text{ de semillas germinadas en el testigo}}$$

$$\text{CRR} = \frac{\text{Elongación de la radícula en el extracto} \times 100}{\text{Elongación de radícula de testigo}}$$

$$\text{IG} = \frac{\text{PGR} \times \text{CRR}}{100}$$

Dónde:

PGR: Porcentaje de Germinación Relativo.

CRR: Crecimiento de Radícula Relativo.

IG: Índice de Germinación

3.7 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANALISIS ESTADISTICO

El análisis estadístico se realizó para cada tipo de gallinaza por separado, siendo elegidas para el análisis la variación de pH y temperatura.

Se utilizó el programa Microsoft EXCEL para realizar el análisis mediante el modelo de **regresión lineal**. El análisis de varianza para pH y temperatura se realizó mediante la prueba T Student al 95% de confiabilidad y la distribución normal al 99% de confiabilidad.

La comparación de porcentaje de germinación de 7 diferentes dosificaciones del tratamiento comparadas con el blanco control fue realizada mediante un Análisis de Varianza ($p < 0.05$) para un diseño completamente al azar con tres repeticiones

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL ESTIÉRCOL DE GALLINA

Se ha caracterizado los siguientes parámetros físicoquímicos y microbiológicos de gallinaza de jaula, gallinaza de piso y mezcla de ambas gallinazas de la Granja de Aves de la UNALM como se aprecia en el Cuadro 23.

Cuadro 23: Análisis físicoquímico de las muestras de Gallinaza

| Parámetros | Gallinaza de jaula | Gallinaza de piso | Mezcla gallinazas |
|---|--------------------|-------------------|-------------------|
| pH | 6.45 | 6.38 | 6.21 |
| Conductividad (dS/m) | 18.30 | 14.60 | 16.40 |
| Humedad (%) | 60.88 | 26.08 | 40.30 |
| Sólidos totales (%) | 31.37 | 93.12 | 59.41 |
| Materia orgánica (%) | 54.66 | 66.72 | 61.23 |
| Carbono orgánico (%) | 31.71 | 38.70 | 35.52 |
| Nitrógeno (%) | 3.24 | 3.37 | 3.23 |
| Relación C/N | 9.79 | 11.48 | 11.00 |
| Potasio (K ₂ O%) | 3.14 | 2.89 | 2.58 |
| Fósforo (P ₂ O ₅ %) | 4.77 | 4.94 | 4.85 |

FUENTE: Laboratorio LAPSF (2011)

4.1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS

El pH de los tres tipos de gallinazas varían entre 6.2 a 6.5 en la escala ligeramente ácida, la muestra de gallinaza en jaula fue superior que las otras dos muestras. Estos resultados difieren del pH de la gallinaza en piso y jaula según el estudio de Estrada (2005), el cual fue alcalino. La variación se debe a la composición del estiércol que depende de la especie del ave, tipo de alimentación, condiciones climáticas y manejo del estiércol a pesar de ser de similar crianza.

El contenido de carbono y nitrógeno en la gallinaza de piso fue superior al de gallinaza de jaula y la mezcla de gallinazas, esto se debe que la gallinaza de piso es el estiércol mezclado con materiales acompañantes con alto contenido de carbono, estos materiales tienen un efecto absorbente con respecto al estiércol por la que disminuye las pérdidas de nutrientes por las fracciones líquidas (26% de humedad) que si se produce en la gallinaza de jaula (60% de humedad). No solo el material acompañante influye en la cantidad de nutrientes del estiércol, también están los factores del manejo de los residuos, en caso de la gallinaza de jaula la exposición del estiércol al aire libre es en menor tiempo que la gallinaza de piso.

4.1.2 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS:

Los parámetros microbiológicos que se evaluaron fue la enumeración de coliformes fecales y totales. El contenido de coliformes fecales y totales de la gallinaza de jaula y piso fueron 11×10^6 NMP/g como se aprecia en el Cuadro 24. Sin embargo, la mezcla de gallinazas presentó 70×10^6 NMP/g de coliformes fecales y totales. La diferencia entre ambas se debe al tiempo de recolección de las muestras.

Cuadro 24: Análisis microbiológico de muestras de Gallinaza

| Parámetros | Gallinaza de jaula | Gallinaza de piso | Mezcla de gallinazas |
|----------------------------|--------------------|-------------------|----------------------|
| Coliformes totales (NMP/g) | 11×10^6 | 11×10^6 | 70×10^6 |
| Coliformes fecales (NMP/g) | 11×10^6 | 11×10^6 | 70×10^6 |

FUENTE: Laboratorio de Ecología Microbiana Mariano Tabusso (2011)

De acuerdo a la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos, los límites máximos permitidos de cantidad de coliformes fecales de los productos orgánicos a ser utilizados como fertilizantes según la clase de cultivos se aprecian en el Cuadro 25.

Cuadro 25: Límites máximos permitidos de contenidos de coliformes fecales en productos orgánicos

| Clase | Cultivos | Limite NMP/g MS |
|--------------|--------------------------------|------------------------|
| Clase A | Cultivos de consumo directo | <1.000 |
| Clase B | Cultivos de consumo no directo | <2 x 10 ⁶ |

FUENTE: EPA (1999) citado por Espinoza, Hernández, Barrera y Obispo (2009).

Se ha demostrado que la calidad del residuo orgánico a utilizar como fertilizante es baja cuando contiene mayor carga microbiana porque los microorganismos inmovilizan y ayudan a retener el nitrógeno en el suelo, trayendo como consecuencia la disminución de la eficiencia de asimilación de este elemento por las plantas (Oliva et al., 2004 citada por Espinoza et al., 2009).

A pesar que las tres muestras de gallinazas manifiestan una mayor estabilidad como abono orgánico, lo que implica menor posibilidad de inmovilizar nitrógeno, tiene un mayor riesgo en la salud pública debida que el contenido de coliformes fecales de estas fue superior a los máximos permitidos en la EPA. La fertilización directa al suelo de la gallinaza traería como consecuencia la contaminación biológica de los cultivos, el suelo y el ambiente. Estos resultados sugieren que la gallinaza debe ser tratada previamente antes de su utilización como abono, la digestión anaerobia es un método efectivo para eliminar microorganismos patógenos.

4.2 CARGA DEL BIODIGESTOR

Según los resultados fisicoquímicos de los tres tipos de estiércol se calculó la relación C/N y % sólidos totales como se aprecian en el Cuadro 26. Del cuadro se aprecia que la relación C/N es menor al valor recomendado por Soria *et al* (2000), por lo cual se mezcló los tipos de gallinaza con rastrojo de maíz para elevar la relación C/N a 30. La diferencia del % de sólidos totales se debe al porcentaje de humedad, por lo cual la gallinaza de jaula obtiene menor % sólidos totales.

Cuadro 26: Relación C/N y % solidos totales

| | Carbono % | Nitrógeno % | Relación C/N | Solidos totales % |
|--------------------|----------------------|------------------------|-------------------------|------------------------------|
| Gallinaza de jaula | 31.71 | 3.24 | 9.8 | 31.37 |
| Gallinaza de piso | 38.70 | 3.37 | 11.48 | 93.12 |
| Gallinaza mezcla | 35.51 | 3.23 | 10.99 | 59.41 |
| Rastrojo de maíz | 51.9 | 0.94 | 61.79 | 90.80 |

FUENTE: Elaboración propia

Siguiendo la metodología de cálculo, a partir de la ecuación 3 y 5 (Anexo 1), se obtuvieron los pesos para la carga del biodigestor como se observa en el Cuadro 27.

Cuadro 27: Carga de los biodigestores.

| | Tratamiento gallinaza jaula | | Tratamiento gallinaza piso | | Tratamiento gallinaza mezcla | |
|------------------|--|----------|---------------------------------------|----------|---|----------|
| | Peso (gr) | % | Peso (gr) | % | Peso (gr) | % |
| Estiércol | 720 | 51 | 207 | 28 | 369 | 37 |
| Rastrojo de maíz | 691 | 49 | 559 | 72 | 619 | 63 |

FUENTE: Elaboración propia

La relación materia orgánica/agua para los tratamiento con gallinaza de jaula y mezcla se utilizó la relación 1/4 y para los tratamientos gallinaza de piso se utilizó dilución 1/5 por ser muestras secas con un 26% de humedad.

4.3 MONITOREO DEL FUNCIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR

Se realizó el monitoreo del funcionamiento de los biodigestor mediante la variable de pH y temperatura de cada experimento.

4.3.1 MONITOREO DE LA VARIACIÓN DEL pH DURANTE EL PROCESO DE DIGESTION ANAEROBICA

La variación de pH en relación al tiempo en días como se observa en la Figura 17, presenta inestabilidad al inicio del proceso observándose mayor estabilidad a partir del día 15 donde se nota menor variabilidad de los datos y un ligero descenso finalizando el proceso. En el anexo 2 se muestra los datos registrados de los tratamientos según sus repeticiones.

Los tratamientos iniciaron con pH neutros entre 6.5 y 7.2, estos valores siguieron el siguiente orden: gallinaza jaula 2 > gallinaza de jaula 1 > gallinaza de piso 2 > mezcla gallinazas 2 > gallinaza de piso 1 > mezcla de gallinazas 1 y fueron descendiendo hasta pH moderadamente ácidos, el pH promedio al finalizar el proceso varía entre 5.2 a 5.4.

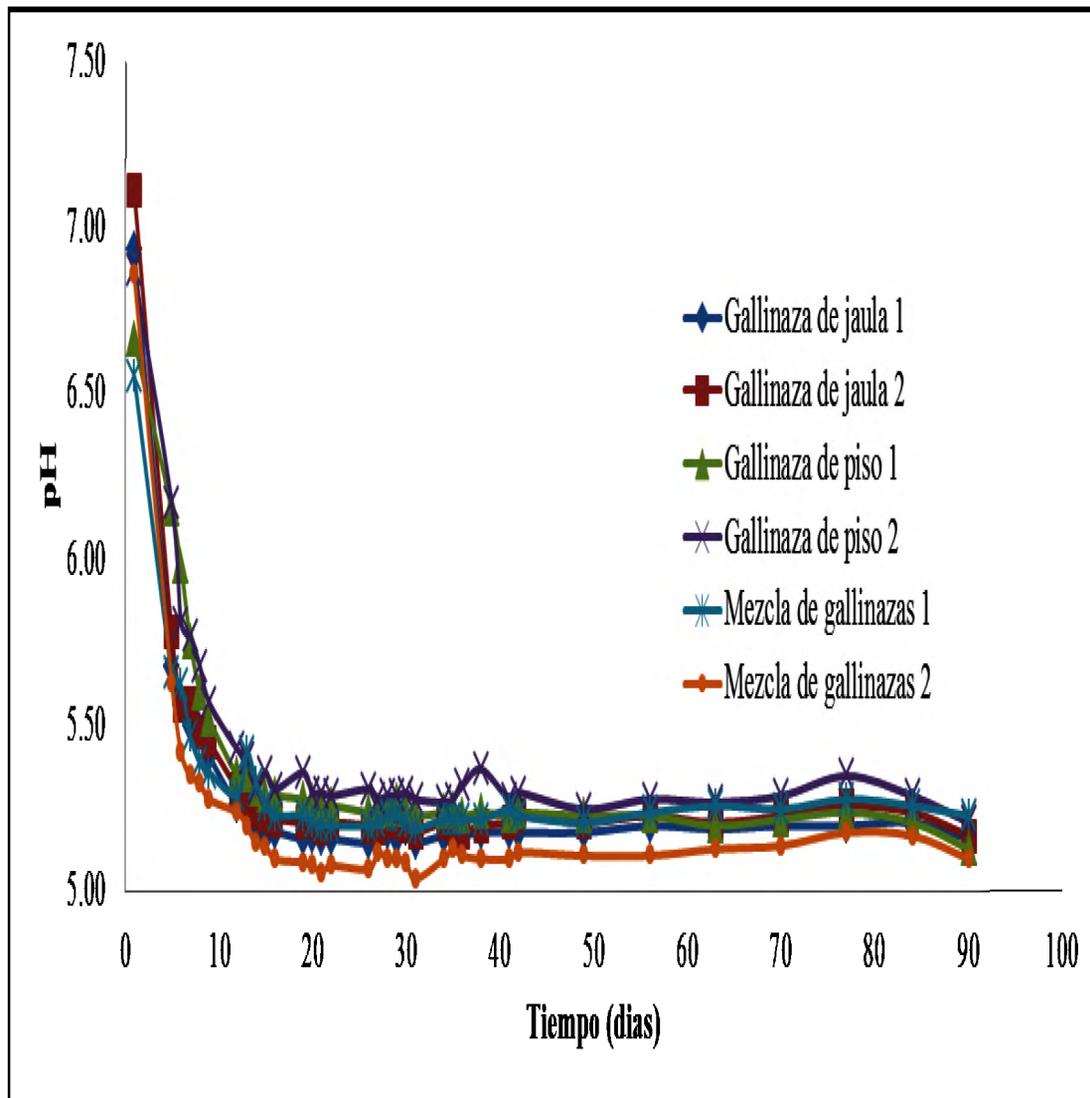


Figura 17: Variación de pH de los tratamientos con Gallinaza

FUENTE: Elaboración Propia

La variación del pH de Gallinaza de Jaula

El análisis mediante gráficas para los tratamientos de gallinaza de jaula muestra una tendencia en forma exponencial en los primeros 30 días luego se da una tendencia lineal en los siguientes puntos como se observa en la Figura 18, por esta razón el análisis estadístico mediante regresión lineal se realizará con los logaritmos de los datos como se aprecia en la Figura 19.

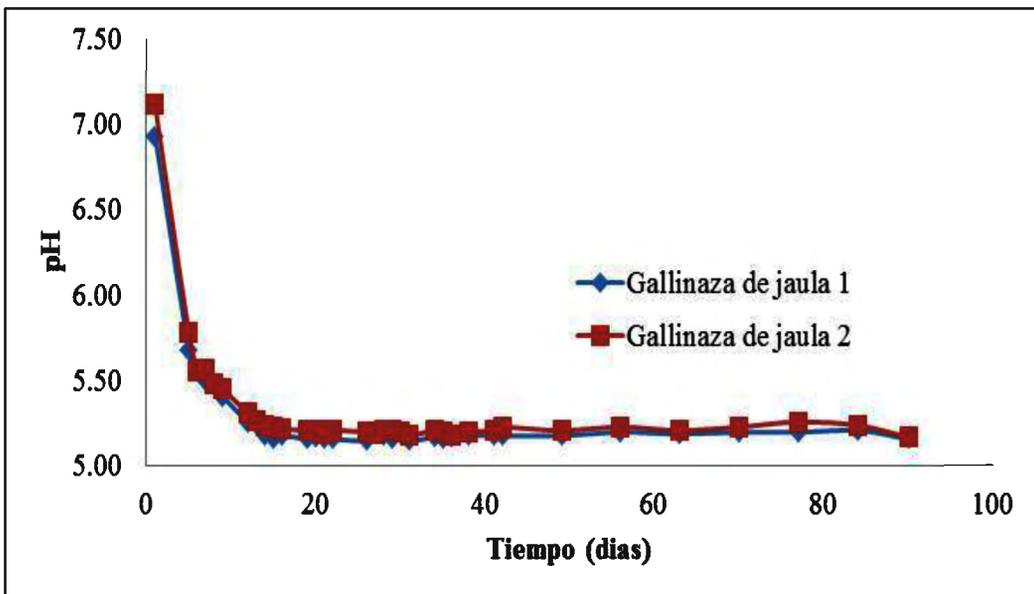


Figura 18: Variación de pH de los tratamientos de gallinaza de jaula

Según el análisis de varianza (ver anexo 4) el pH entre los dos tratamientos no presentaron diferencias significativas porque los puntos son paralelas casi superpuestas a una confiabilidad de 99%.

Según la Figura 19, el coeficiente de determinación (R^2) obtenido indica que el 86.81% de la variabilidad del pH en el tratamiento es explicada por el tiempo de retención (días), la variable pH es estocástica debido a que los componentes de la naturaleza no se pueden controlar y que son irrepetibles e impredecibles.

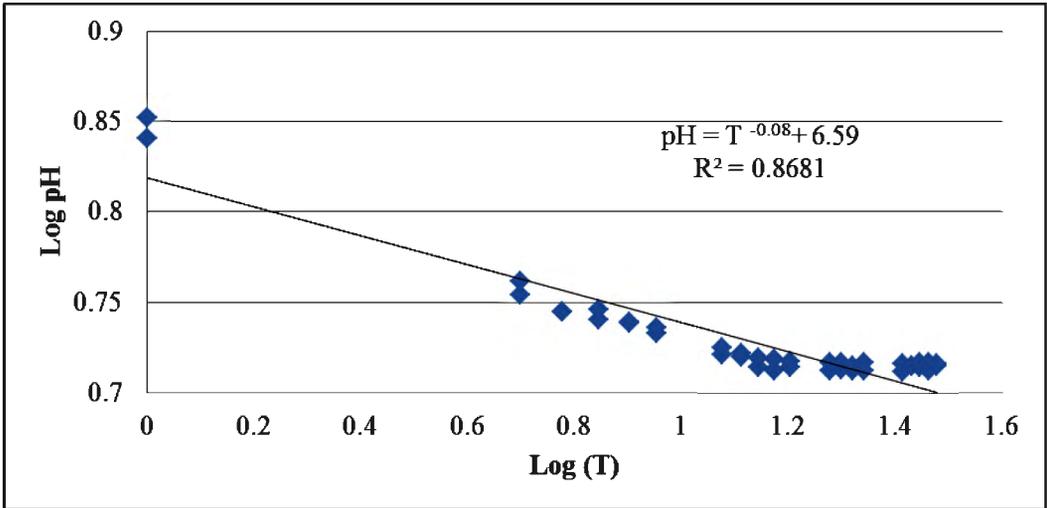


Figura 19: Análisis de la regresión línea para la variación de pH de la gallinaza de jaula

La variación del pH de Gallinaza de Piso

El análisis mediante gráficas para los tratamientos de gallinaza de piso es similar al tratamiento de gallinaza de jaula, muestra una tendencia en forma exponencial en los primeros 30 días luego se da una tendencia lineal en los siguientes puntos como se observa en la Figura 20, por esta razón el análisis estadístico se realizara con los logaritmos de los datos.

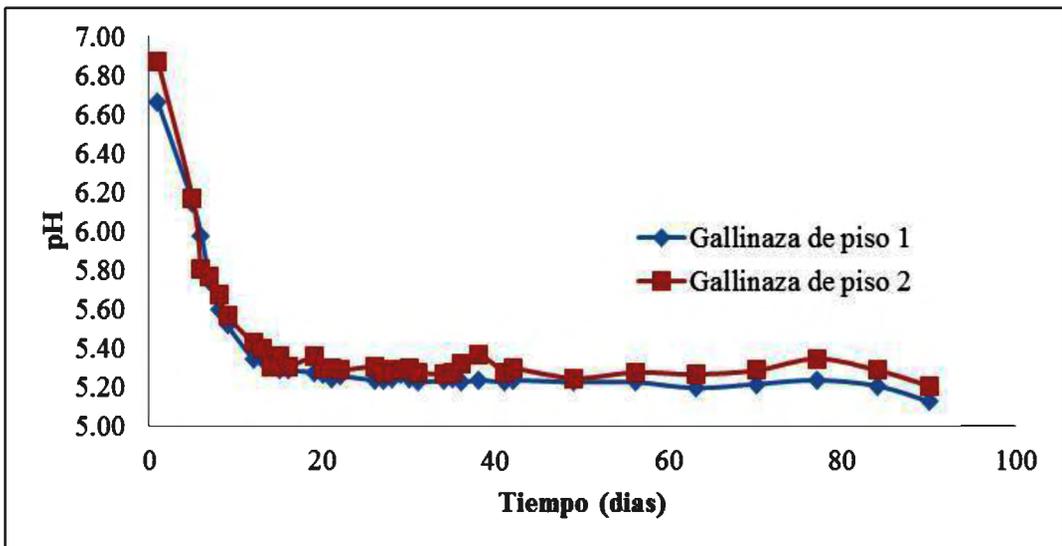


Figura 20: Variación de pH de los tratamientos de gallinaza de piso

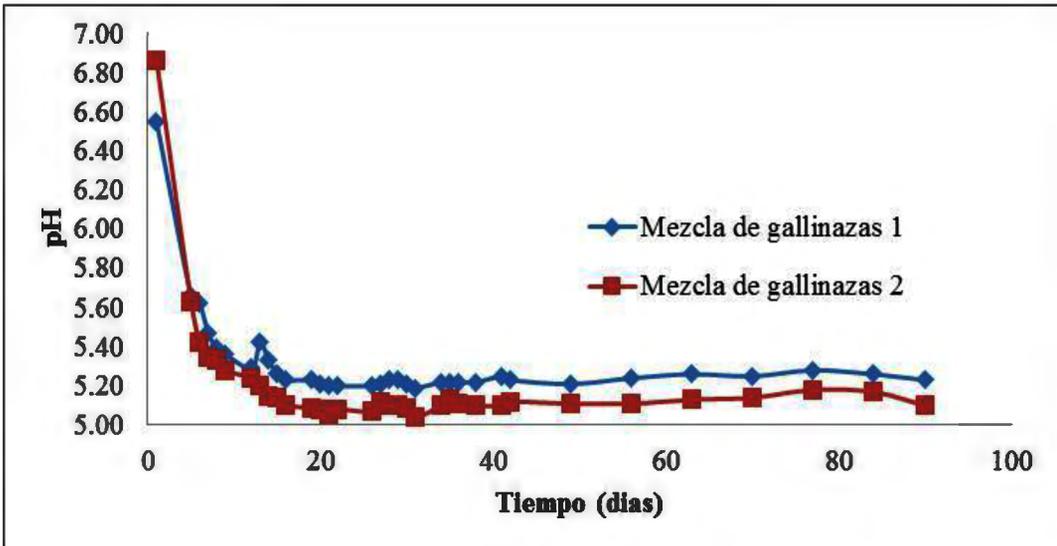


Figura 22: Variación de pH de los tratamientos de mezcla de gallinazas

Según el análisis de varianza (ver anexo 4) el pH entre los dos tratamientos no presentaron diferencias significativas porque los puntos son paralelas casi superpuestas a una confiabilidad de 99%.

En el Figura 23 se observa que el coeficiente de determinación (R^2) obtenido indica que 86.02% de la variabilidad del pH en el tratamiento es explicada por el tiempo de retención (días), siendo la variable pH estocástica.

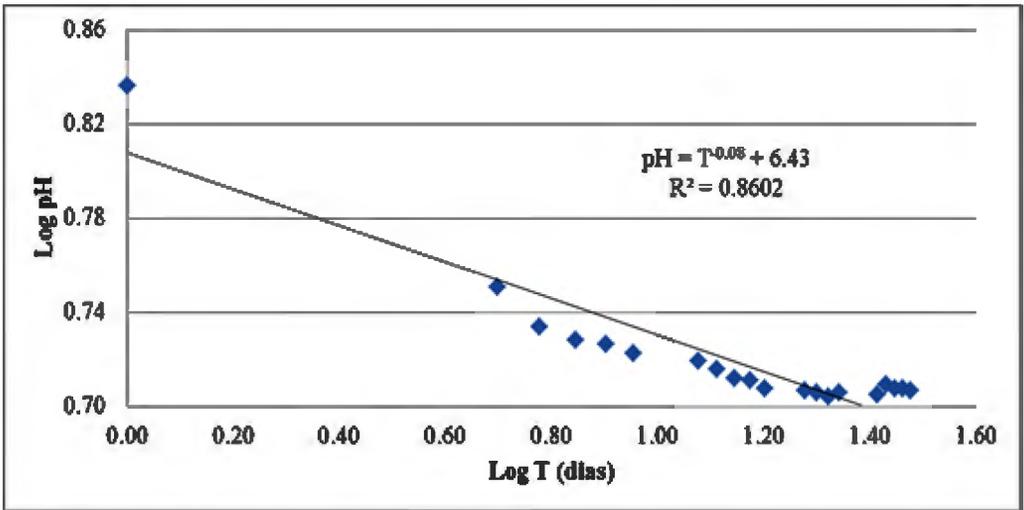


Figura 23: Análisis de la regresión línea para la variación de pH de mezcla de gallinazas

El pH del tratamiento mezcla de gallinazas 1 presenta valores superiores a los otros tratamientos, además presentó mohos en la superficie del biodigestor por lo cual se descartó.

Al finalizar el proceso de digestión los valores de pH de los tratamientos siguieron el siguiente orden: gallinaza de piso 2 > gallinaza de jaula 2 > gallinaza de jaula 1 > gallinaza de piso 1 > mezcla de gallinazas 2. Comparando el pH inicial y final no hay correlación de orden en los tratamientos debido que la digestión de cada muestra es diferente por sus condiciones iniciales físicas y químicas.

Los valores iniciales de pH fue mayor debido a las condiciones iniciales de los estiércoles. Posteriormente empezó a decaer paulatinamente por la acumulación de ácidos grasos volátiles que se realiza durante la fase de hidrólisis seguido por la acidogénesis, esto también influye en la disminución de la concentración de amoníaco libre (Martí, 2006).

Pelczar y Reid (1958) citado por García, et al., (2005), menciona que la disminución del pH según el tiempo de fermentación puede ser consecuencia de la producción de ácidos grasos de cadenas cortas, que inhiben o eliminan los microorganismos que crecen a pH más neutros, por lo cual se deduce que el proceso no llegó a la fase acetogénica ni metanogénica cuyos pH varían entre 6.5 y 7.5 (Martín, 2006). La gallinaza contiene concentraciones de grasa superior que el estiércol de vacuno y cuy, esto también influye en la acumulación de ácidos grasos de cadena corta.

El sistema tuvo pH ácidos, por lo cual el volumen de gas fue disminuyendo en relación al tiempo de fermentación debido a la formación de amonio gracias a la concentración de proteínas de la gallinaza (9.32%), los últimos días no hubo producción de gas. Según Sung y Lui (2003) el pH determina la composición del nitrógeno amoníaco total que a bajos niveles de pH predomina el amonio, además las pequeñas disminuciones de pH implica el consumo elevado de alcalinidad disminuyendo la capacidad amortiguadora del pH del medio, por ende, la capacidad de neutralizar los ácidos grasos es baja.

4.3.2 MONITOREO DE LA VARIACION DE TEMPERATURA DURANTE EL PROCESO DE DIGESTION ANAEROBIA

La variación de la temperatura interna del biodigestor se midió en dos fases líquida y sólida. Este parámetro fue muy variable presentando incremento y disminución, las temperaturas de ambas fases descienden a partir del día 15 coinciden con la estabilización del pH como se observan en la Figura 24 y 25. En el anexo 3 se muestra los datos registrados de los tratamientos según sus repeticiones.

A partir del día 40 las temperaturas tienen una variación descendente esto coincide con el tiempo de retención del sistema a 45 días para una temperatura promedio del biodigestor de 20°C. Además, a partir del día 85 del proceso de digestión la temperatura asciende en los tratamientos. El biogás se liberó (en este experimento la producción de biogás no se evaluó), el cual se purgó para evitar que la presión rompiera la bolsa.

Como se aprecia en la Figura 24, la temperatura del tratamiento gallinaza de piso 2 es superior a los otros tratamientos. Además, la temperatura líquida del tratamiento gallinaza de piso 1 presentó problemas, durante el proceso de digestión, el termistor se descalibró por tal razón se descarta el análisis de la temperatura.

De la misma forma que la figura anterior, en la Figura 25 se observa que la temperatura de la fase sólida de los tratamientos de gallinaza de piso es superior a la temperatura de los otros tratamientos.

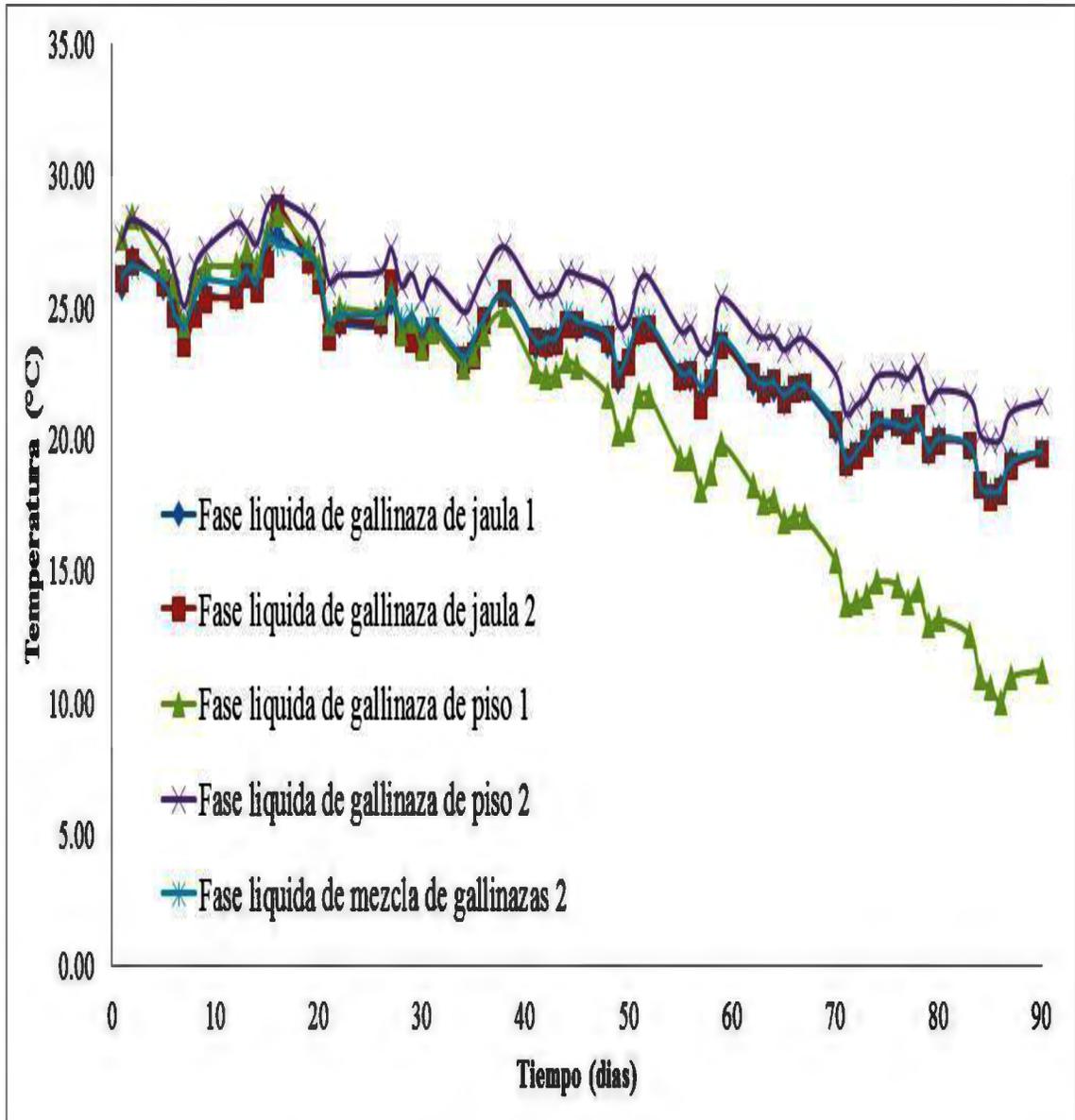


Figura 24: Variación de temperatura (°C) líquida de los tratamientos con gallinaza

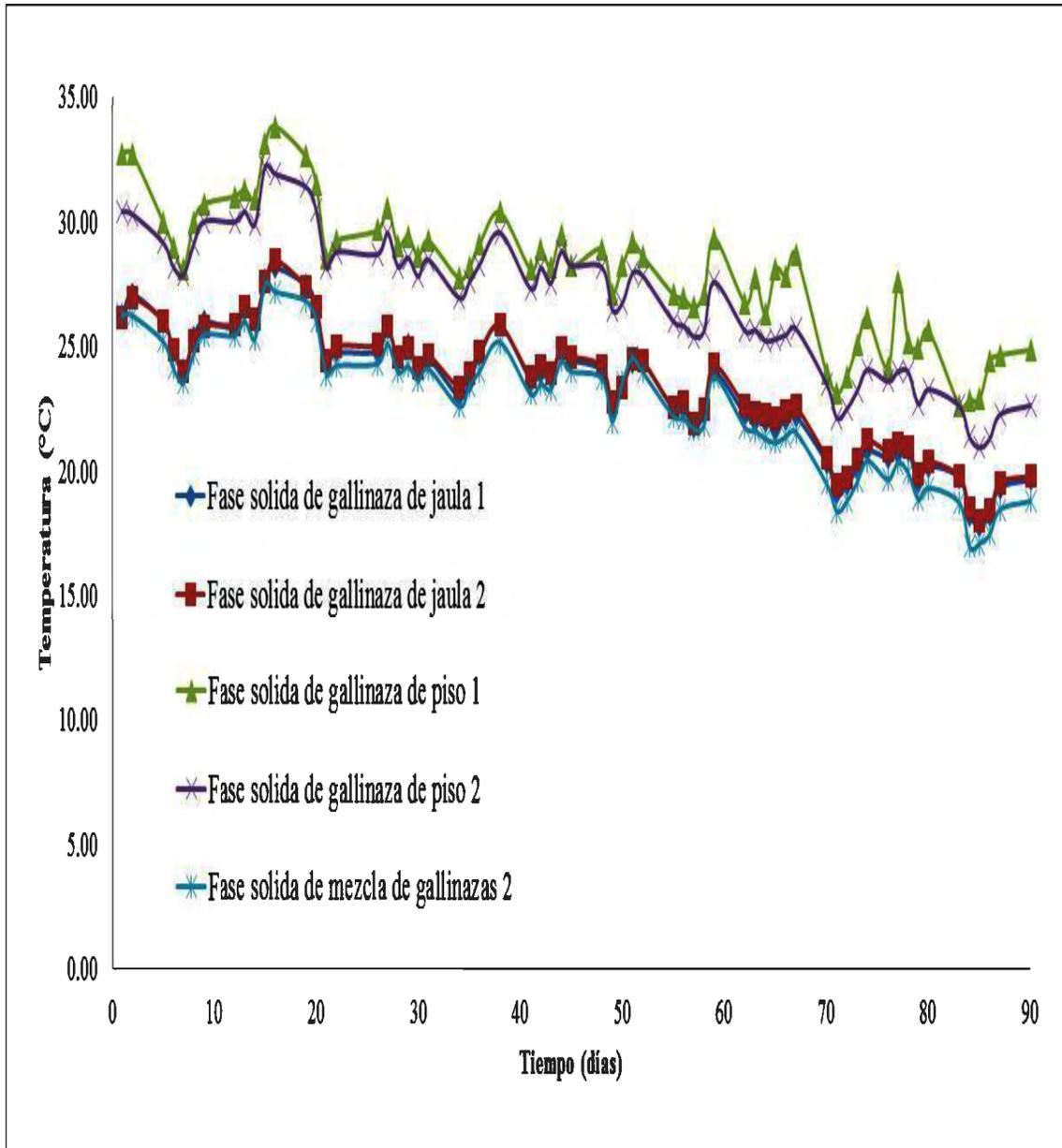


Figura 25: Variación de temperatura (°C) solida de los tratamientos con gallinaza.

Variación de la temperatura gallinaza de jaula

En la Figura 26, se observa la variación de la temperatura de la fase líquida y sólida de los tratamientos con gallinaza jaula. Al quinceavo día la muestra presenta un descenso de la temperatura estabilizándose en los últimos días del proceso mayor a 19°C. El rango de temperatura se encuentra en la etapa mesofílico.

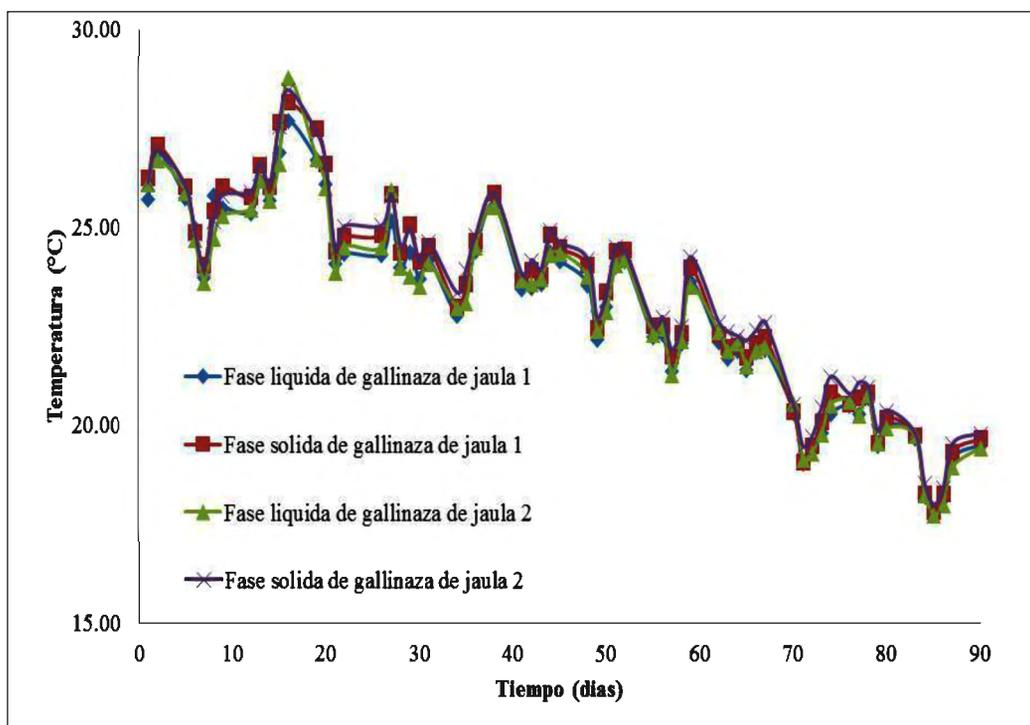


Figura 26: Variación de temperatura (°C) de la fase líquida y sólida en los tratamientos con gallinaza de jaula

Según el análisis de varianza (ver Anexo 5) las temperaturas líquidas y solidas entre los dos tratamientos no presentaron diferencias significativas porque los puntos son paralelas casi superpuestas a una confiabilidad de 99%.

Mediante análisis de la regresión lineal (Figura 27), el coeficiente de determinación obtenido indica que el 86.55% y 86.11% de la variabilidad de la temperatura de la fase líquida y sólida respectivamente es explicado por el tiempo de retención. La variable de

temperatura es estocástica debido a que los componentes de la naturaleza no se pueden controlar y que son irrepetibles e impredecibles.

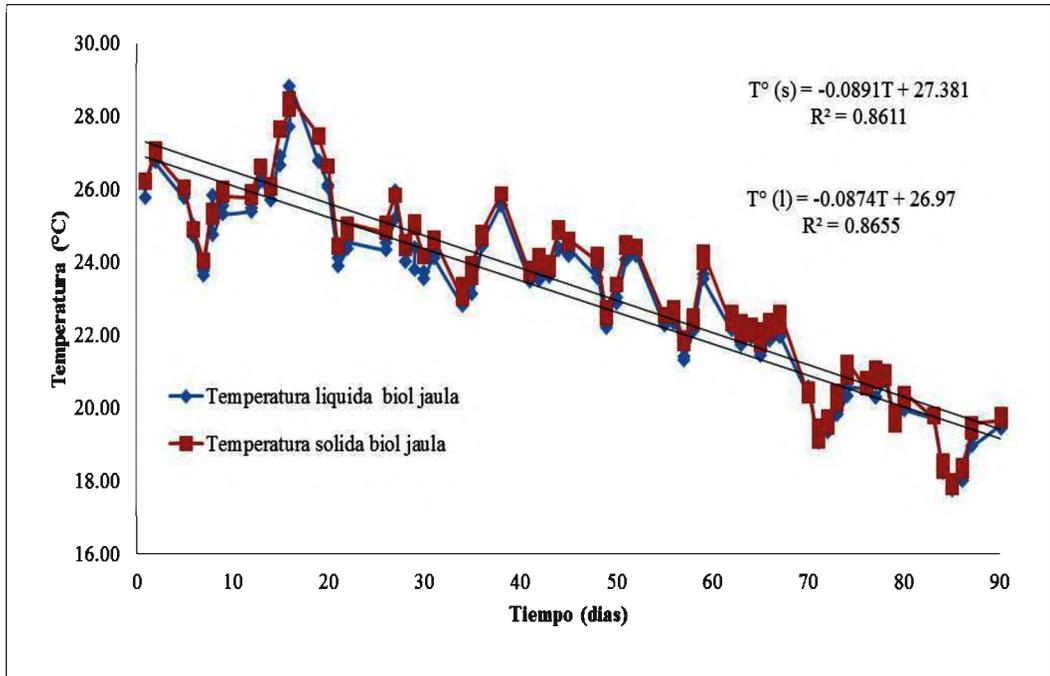


Figura 27: Análisis de regresión lineal del tratamiento de gallinaza de jaula

Variación de la temperatura gallinaza de piso

En la Figura 28, se observa la variación de temperatura de la fase líquida y sólida de los tratamientos con gallinaza de piso. Similar que el caso anterior al quinceavo día la muestra presenta un descenso de la temperatura estabilizándose en los últimos días del proceso mayor a 21°C. Los tratamientos presentan mayor temperatura que los tratamientos de gallinaza de jaula debido a su composición fisicoquímica, el rango de temperatura se encuentra en mesofílico.

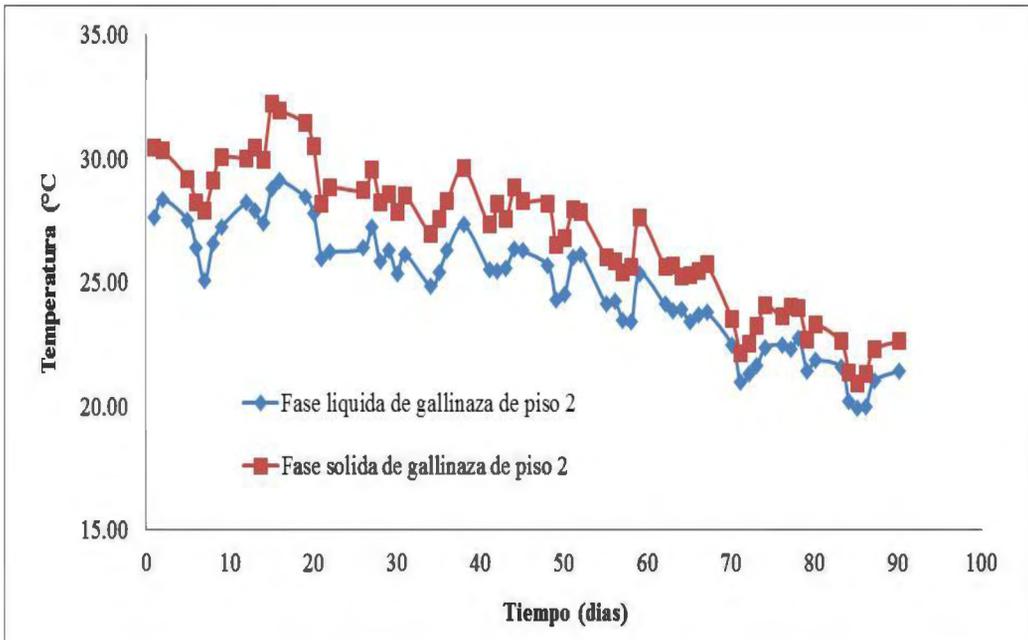


Figura 28: Variación de temperatura (°C) de la fase líquida y sólida en los tratamientos con gallinaza de piso.

Según el análisis de varianza (ver anexo 5) las temperaturas líquidas y sólidas del tratamiento estadísticamente son paralelos pero no necesariamente son superpuestas a una confiabilidad del 99%.

Mediante análisis de la regresión lineal (Figura 29), el coeficiente de determinación obtenido indica que el 86.58% y 86.12% de la variabilidad de la temperatura de la fase sólida y líquida respectivamente es explicado por el tiempo de retención. La variable de temperatura es estocástica debido a que los componentes de la naturaleza no se pueden controlar y que son irrepitibles e impredecibles.

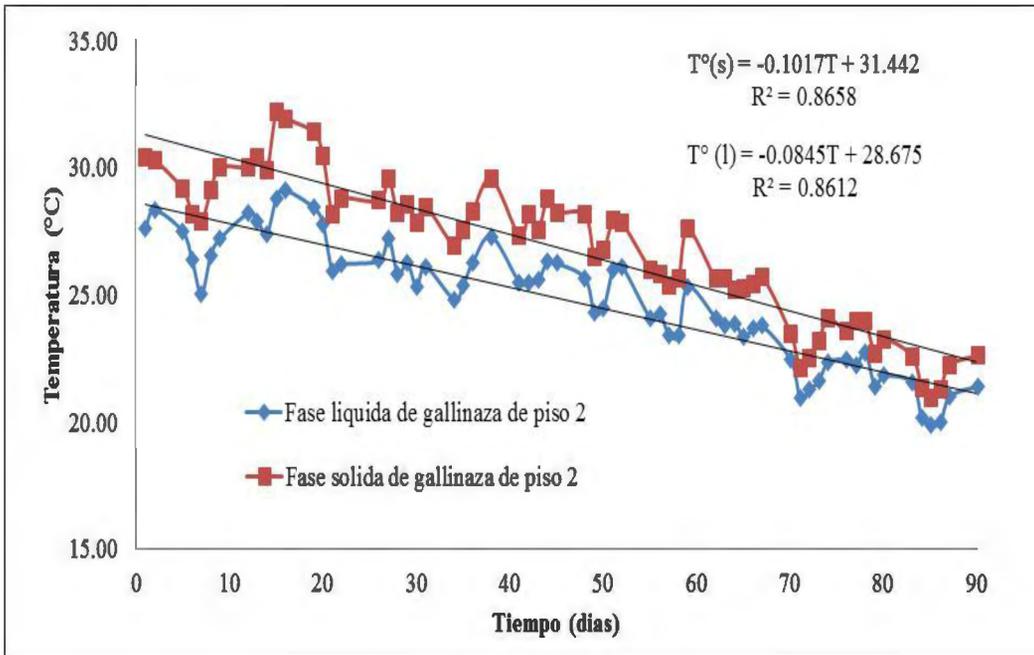


Figura 29: Análisis de regresión lineal del tratamiento de gallinaza de piso

Variación de la temperatura gallinaza mezcla

En la Figura 30, se observa la variación de temperatura de los tratamientos de la mezcla de gallinazas. Similar a los otros dos casos la variación de temperatura presenta un descenso a partir del quinceavo día. Para los tratamientos con mezcla de gallinaza, la temperatura de la fase liquida es mayor a la temperatura de la fase sólida. La temperatura se estabilizo al final del proceso en un promedio de 18°C, encontrándose en la fase psicrófila.

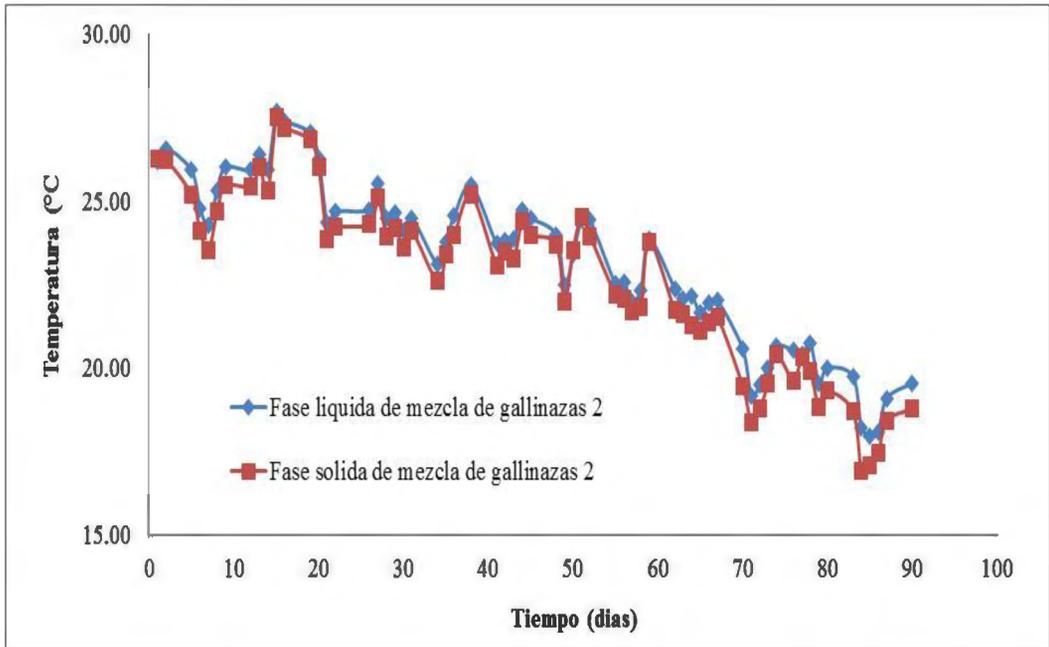


Figura 30: Variación de temperatura (°C) de la fase líquida y sólida en los tratamientos de la mezcla de gallinazas

Según el análisis de varianza (ver anexo 5) las temperaturas líquidas y sólidas entre los dos tratamientos no presentaron diferencias significativas porque los puntos son paralelas casi superpuestas a una confiabilidad de 99%. Mediante análisis de la regresión lineal (Figura 31), el coeficiente de determinación obtenido indica que le 85.85% de la variabilidad de la temperatura es explicado por el tiempo de retención. La variable de temperatura es estocástica.

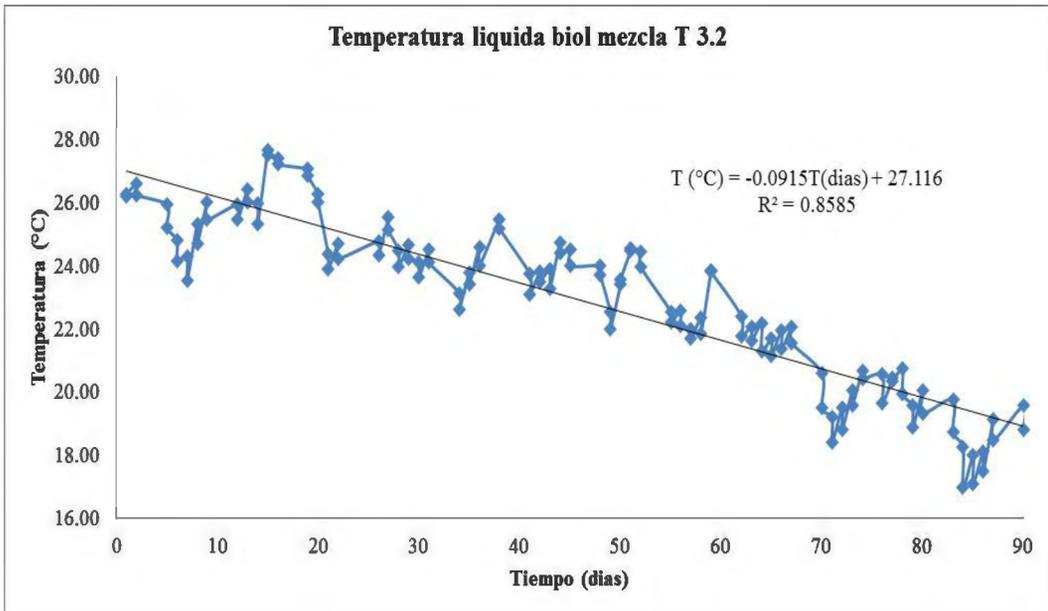


Figura 31: Análisis de regresión lineal del tratamiento de mezcla de gallinazas.

Como se observa en las tres figuras anteriores, en general, la etapa mesofílica en promedio en los cuatro tratamientos duró 60 días, luego se inició la etapa psicofílica ascendiendo a partir del día 85 volviendo a la etapa mesofílica al final del proceso excepto los tratamientos de gallinaza de mezcla.

A lo largo del proceso de digestión se observó la disminución de pH y temperatura, ello según Martí (2006) está indicando presencia de sulfuros no ionizado. Esta sustancia puede producir la inhibición de la fase metanogénesis, por lo cual el proceso de digestión se encontró en fase acidogénesis.

Por otra parte, la temperatura afecta directamente el proceso controlando la tasa de crecimiento microbiano. Así a modo de ejemplo, en el proceso mesofílico (rango de temperatura de 33 – 38°C) si la temperatura disminuye a 30°C bajo el rango óptimo, la tasa de crecimiento microbiano disminuye y aumenta el tiempo de retención para estabilizar el proceso, por lo cual el tiempo de retención del sistema fue superior a los 45 días.

4.4 CARACTERIZACION DEL BIOL

El proceso bajo las condiciones de temperatura y pH del sistema ha devenido en las características. Antes de iniciar los bioensayos con semillas de maíz, se realizaron los análisis microbiológicos y agronómicos del biol de los tres tipos de gallinaza.

4.4.1 ANALISIS MICROBIOLÓGICO

En el Cuadro 28 se muestra los resultados de los análisis microbiológicos de los tratamientos para verificar la ausencia de microorganismos patógenos como coliformes fecales y totales, que puedan afectar la inocuidad del abono foliar en la pruebas de bioensayos en maíz.

Cuadro 28: Análisis microbiológico de biol de los tres tipos de gallinaza

| | Gallinaza fresca | Biol jaula | Biol piso | Biol mezcla |
|--|-----------------------|------------|-----------|-------------|
| Enumeración de coliformes totales NMP/ml | 10 ⁶ NMP/g | <3 | <3 | <3 |
| Enumeración de coliformes fecales NMP/ml | 10 ⁶ NMP/g | <3 | <3 | <3 |

Nota: Valores de <3 indican ausencia de microorganismos.

FUENTE: Laboratorio de Ecología Microbiana Mariano Tabusso.

Los resultados de los análisis muestran la ausencia de coliformes fecales y totales en los tres tratamientos dando valores < 3 NMP/ml en un tiempo de 90 días de fermentación. Este valor indica la ausencia de coliformes totales y fecales en el abono foliar.

El tiempo de fermentación ayuda a la reducción de niveles de coliformes totales y fecales, a mayor tiempo de tiempo mayor niveles de reducción (ccc). La fermentación de biol artesanal reportado por Solis (2007) citado por Peralta (2010), la reducción de los niveles de coliformes fecales y totales al inicio de la biodegradación de los abonos de 107 – 108 NMP/100ml llegaron a ser en los 61 días a 103 NMP/100ml y así mismo

llegando a ser cercanos a cero a los 335 días. En el caso del fast biol 20 (Peralta, 2010) en cinco días de fermentación lograron la ausencia de microorganismos patógenos debido al pre tratamiento de las excretas a 80°C por 15 min.

En el Cuadro 28 se verifica la disminución de la carga microbiana inicial no deseada gracias al proceso de fermentación, la cantidad de coliformes fecales y totales en el biol fueron inferiores de los límites establecidos por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (ver cuadro 24). Además, el Estándar de Calidad Ambiental para Agua (D.S. 002-2008-MINAM) para uso de agua con fines de riego, los microorganismos patógenos debe tener como máximo 1000 NMP/100ml de coliformes fecales y 5000 NMP/100ml de coliformes totales, estando los tratamientos por debajo del límite establecido.

Respecto a la presencia de otros microorganismos como bacterias totales, bacterias Gram+, Gram-, estafilococos y E. coli, no se analizaron en laboratorios pero según las Terzich et al. (2000) citado por Garcia et al. (2005), halló que el número de estas bacterias en el estiércol tendían a incrementarse con el ascenso del pH. En el proceso de digestión se observó un descenso del pH por lo cual teóricamente no existe riesgo de estos patógenos en el biol.

4.4.2 ANALISIS QUIMICO DE INTERÉS AGRONOMICO DEL BIOL DE GALLINAZA

En el Cuadro 29 se muestra el resultado del análisis fisicoquímico de los tratamientos con el objetivo de evaluar el potencial que tiene este producto como abono orgánico líquido.

El biol de gallinaza en jaula y piso contiene una alta concentración de nitrógeno valores de 1708 mg/l y 1813 mg/l respectivamente, esto se debe que el nitrógeno contenido en la gallinaza no se ha perdido debido al pH bajo superior a 5 según el valor arrojado por el laboratorio LASPAF y en condiciones del biodigestor valores similares.

Cuadro 29: Análisis micro y macronutrientes del biol de jaula

| | Biol jaula | Biol piso | Biol mezcla |
|------------------------------------|-------------------|------------------|--------------------|
| PARAMETROS | | | |
| PH | 5.07 | 5.08 | 4.97 |
| CE (dS/m) | 20.2 | 20.6 | 16.3 |
| Solidos totales | 30.8 | 35 | 25.1 |
| MO (g/l) | 18.3 | 19.6 | 13.9 |
| ANÁLISIS DE MACRONUTRIENTES | | | |
| N total (mg/l) | 1708 | 1813 | 931 |
| P total (mg/l) | 142.08 | 164.76 | 109.77 |
| K total (mg/l) | 2300 | 2500 | 2224 |
| Ca total (mg/l) | 1916 | 2534 | 1968 |
| Mg total (mg/l) | 408 | 460 | 336 |
| Na total (mg/l) | 332 | 392 | 312 |
| ANÁLISIS DE MICRONUTRIENTES | | | |
| Fe total (mg/l) | 82.40 | 101 | 62.4 |
| Cu total (mg/l) | 0.64 | 0.82 | 0.32 |
| Zn total (mg/l) | 3.64 | 3.92 | 2.16 |
| Mn total (mg/l) | 9.84 | 10.7 | 8.96 |
| B total (mg/l) | 3.92 | 5.72 | 4.67 |

FUENTE: Laboratorio LASPAF (2011)

Según Guerrero (1993) los estiércoles cuyo pH es alcalino tienden a perder rápidamente el nitrógeno, generando un fuerte olor amoniacal. El biol piso contiene mayor concentración de nitrógeno que biol jaula y mezcla debido que la disminución de pH en comparación al pH inicial (estiércol fresco) fue menor en gallinaza de piso. Además la FAO (1999) menciona que un suministro pobre de nitrógeno, habrá poca absorción y la pérdida transferida de nitrógeno al ambiente será alta y si aumentamos el suministro de nitrógeno, la planta absorberá mayores cantidades por lo cual el biol de gallinaza muestra un buen potencial de uso como abono en los cultivos agrícolas.

Como se observa en la Figura 8, el potasio es indispensable para la regulación hídrica y movimientos de los nutrientes además contribuye al aumento en la resistencia de enfermedades (ADES, 2006). Las concentraciones de potasio fueron de 2300, 2500 y 2224 mg/l para los tratamientos de biol jaula, piso y mezcla respectivamente siendo óptimas para los cultivos agrícolas. Además presentaron concentraciones óptimas de fósforo que es el segundo nutriente más requerido por las plantas y microorganismos. Por otra parte, el biol de los tres tipos de gallinaza tiene una alta conductividad eléctrica, sin embargo, las cantidades determinadas en los análisis de bioensayos varían al momento que se formule las dosificaciones

Comparando los tres tratamientos seleccionados, el orden respecto a la concentración de nitrógeno es de la siguiente manera Biol piso > Biol jaula > Biol mezcla. El biol de gallinaza en piso presentó mayor concentración de micro y macro nutrientes especialmente nitrógeno, esto se debe a las condiciones iniciales de la muestra y al manejo del estiércol, la muestra pierde poco nitrógeno al ser expuesto al aire libre y durante el proceso de digestión presenta menor valor de pH.

En el Cuadro 30, se observa la comparación de la composición del biol piso con la de otros abonos orgánicos líquidos con la finalidad de evaluar el potencial que tiene este producto como abono orgánico líquido. La concentración de los principales macronutrientes N, P y K de biol piso fueron superiores comparado a los bioles de origen porcino y de estiércol de cuy de la Ventanilla Ciudad Saludable y el Fundo Casablanca respectivamente (Cuadro 30). La diferencia de la concentración de nutrientes se debe principalmente al pH neutro que obtienen.

Sin embargo, el Fastbiol 20 obtenido en 30 días con un precompost a 85°C logro concentraciones superiores al biol piso, el nitrógeno es superior debido que el fastbiol se mantuvo a un pH bajo 3.75 gracias al ácido láctico que evito la perdida de nitrógeno contenido en la materia prima.

Cuadro 30: Análisis macronutrientes del biol de diferentes insumos

| Ensayos | BC ⁽¹⁾ | BV ⁽²⁾ | BCalera ⁽²⁾ | Fast biol 20 ⁽³⁾ |
|----------------------|-------------------|-------------------|------------------------|-----------------------------|
| PH | 7.8 | 7.89 | 7.2 | 3.75 |
| CE (dS/m) | --- | 19.28 | 21.3 | 25.70 |
| M.O. en solución g/l | --- | 5.28 | 17.2 | 181.10 |
| Nitrógeno mg/l | 900 | 1876 | 1700 | 4200 |
| Fosforo mg/l | 120 | 71.2 | 3800 | 744.20 |
| Potasio mg/l | 900 | 1940 | 5200 | 17200 |

FUENTE: (1) Biol Casa Blanca. Biol de estiércol de cuy
(2) Biol Ventanilla Ciudad saludable. Biol de origen porcino
(3) Biol de la granja de aves La Calera. Biol origen gallinaza
(4) Fast Biosol 20 de origen vacuno. (Peralta, 2010)

El biol piso, además se comparó con el biol obtenido de El Fundo La Calera que convierte la gallinaza en biol y biogás mediante biodigestor semicontinuo a una temperatura de 38°C, agitación constante y contenida de materia seca de 11%. Su concentración de nitrógeno es menor que el Biol de gallinaza piso debido que su pH es alcalino, sin embargo, la concentración de fosforo y potasio según Uribe *et al* (2001) a pH neutros es alta, la diferencia también se debe al tipo de manejo y alimentación de las aves por lo cual la composición del estiércol fresco de La Calera debe tener mayores concentraciones de NPK.

Los tres tipos de bioles a condiciones naturales presenta buena concentración de nutrientes de nitrógeno, potasio y fósforo, además una buena concentración de materia orgánica que es una propiedad importante en los abonos orgánicos como fuente de nutrientes para la microflora del suelo así como un buen medio de soporte para los cultivos.

4.4.3 BIOENSAYO DE GERMINACION – TEST SOBRERO Y RONCO

Se evaluó la calidad agronómica del biol de los diferentes tipos de bioles mediante bioensayos de germinación con semillas de maíz (Test de Sobrero y Ronco, 2004).

El propósito de este estudio fue evaluar la calidad de biol de residuos orgánicos de las granjas de gallinas. Se midió el índice de germinación (IG), la longitud de radícula de semillas de maíz. Se tomó como referencia la prueba presuntiva de la dosis de inhibición media de Peralta (2010), son siete dosis de estos materiales (biol/agua) fueron preparadas: 0.1/100, 1/100, 5/100, 7.5/100, 8.8/100, 10/100 y 50/100. Un control sin adición también fue incluido. En el cuadro 31 se aprecia la medición de pH y CE de las siete dosis y el control para cada tipo de biol.

Cuadro 31: Condiciones fisicoquímicas iniciales en las diferentes concentraciones dosis respuesta de los bioles.

| Diluciones | Biol jaula | | Biol piso | | Biol mezcla | |
|------------|------------|-------------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| | pH | C.E. (dS/m) | pH | C.E. (dS/m) | pH | C.E. (dS/m) |
| Control | 6.6 | 0.009 | 6.6 | 0.009 | 6.6 | 0.009 |
| 0.1/100 | 5.57 | 0.22 | 5.24 | 0.32 | 6.31 | 0.27 |
| 1/100 | 5.31 | 1.05 | 5.23 | 0.84 | 5.4 | 0.88 |
| 5/100 | 5.25 | 4.07 | 5.19 | 3.42 | 5.23 | 3.56 |
| 7.5/100 | 5.23 | 5.85 | 5.19 | 4.98 | 5.20 | 4.82 |
| 8.8/100 | 5.23 | 6.83 | 5.18 | 5.73 | 5.17 | 5.26 |
| 10/100 | 5.23 | 7.70 | 5.17 | 6.38 | 5.16 | 5.84 |
| 50/100 | 5.21 | 21.37 | 5.15 | 24.40 | 5.14 | 19.40 |

FUENTE: Elaboración propia

La variación del pH fue mínima, dado que, las diluciones son próximas entre las diluciones 5/100 a 10/100. En cuanto a la C.E., se observa que a una caída abrupta para la dilución 10/100 y luego sigue disminuyendo conforme la dosis sea mas diluida.

En la Figura 32 se observa el porcentaje de semillas de maíz germinadas al quinto día para cada tipo de biol. El número de semillas germinadas de la dilución control fue 10 semillas, en la figura se aprecia que las diluciones cuyos % de germinación mayores de 90% son 0.1/100, 1/100 y 5/100 de los tres tipos de bioles, además del biol mezcla dentro del rango esta considerado las diluciones 7.5/100 y 8.8/100. En la dilución 50/100 de biol piso y jaula no hubo germinación debido al efecto toxico del biol.

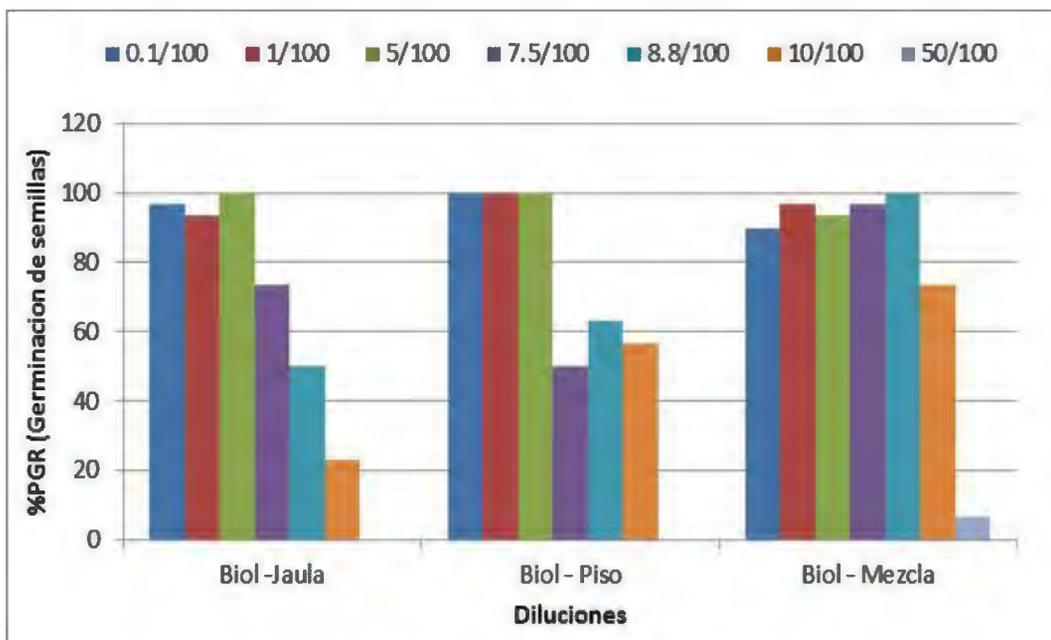


Figura 32: Porcentaje de semillas germinadas de los tres tipos de biol

En la Figura 33 se presentan los resultados del porcentaje de crecimiento de la radícula. La elongación del control en promedio es 26.33 mm, las dosis cuyas elongaciones son mayores de 26.33mm fueron las diluciones 0.1/100 y 1/100 del biol piso y 1/100 de mezcla. Las dosis cuyas elongaciones son próximas al del control fue la dilucion 0.1/100 del biol jaula y mezcla, el resto son menores del 90%.

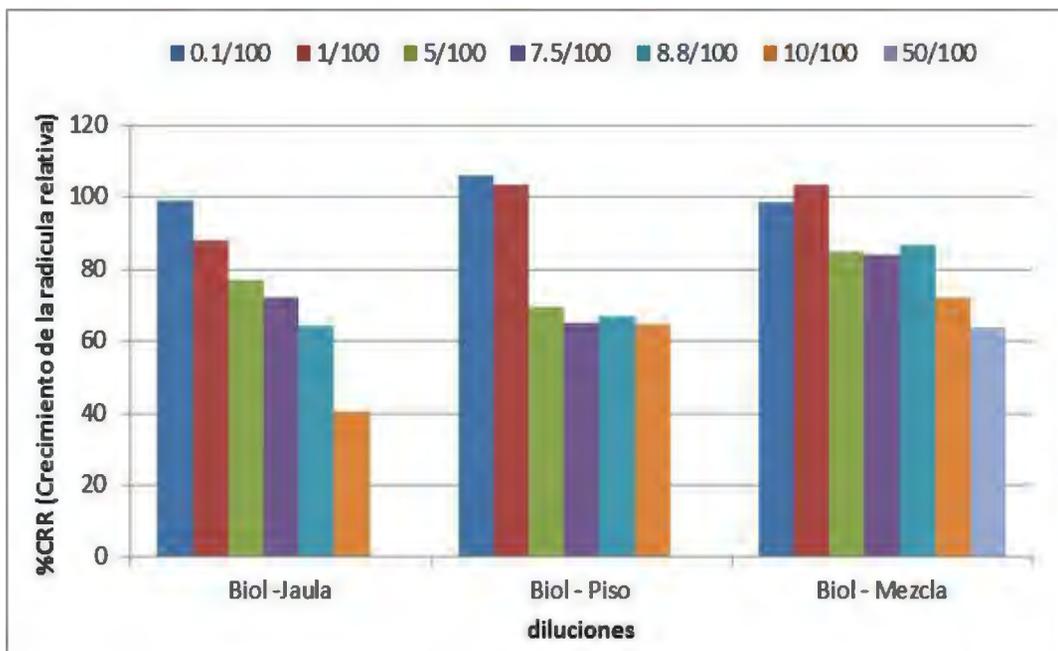


Figura 33: Porcentaje de crecimiento de la radícula por efecto de la aplicación de los tres tipos de biol.

En el caso de biol jaula, la elongación de las semillas de maíz disminuye a mayor aplicación de biol. Sin embargo el biol piso y mezcla, las elongaciones de las diluciones entre 5/100 a 10/100 son mayores del 60% de crecimiento de la radícula respecto a la dilución control.

En la dilución 10/100 del biol jaula se encontró efecto adverso sobre el crecimiento de las plantulas de maíz, el crecimiento de la radícula fue ensortijado y de menor tamaño (10mm).

Según el análisis estadístico (ver anexo 7), no hay relación que la elongación de germinación de las semillas sea mejor conforme aumenta la dosis de biol en la dilución para el caso de biol piso y mezcla.

INDICE DE GERMINACION:

Siguiendo la metodología del test de Sobrero y Ronco, los resultados en cuanto al porcentaje de germinación relativo (PGR) en las concentraciones del bio jaula en la dilución 5/100 fue 100%; no obstante, esta interfirió en el crecimiento de radícula relativo (CRR) como se observa en el cuadro 32.

Cuadro 32: Índice de germinación (IG) de semillas de maíz.

| | BIOL JAULA | | | BIOL PISO | | | BIOL MEZCLA | | |
|----------------|------------|---------|-------------|-----------|---------|--------------|-------------|---------|--------------|
| | PGR (%) | CRR (%) | IG (%) | PGR (%) | CRR (%) | IG (%) | PGR (%) | CRR (%) | IG (%) |
| 0.1/100 | 96.7 | 98.9 | 95.6 | 100.0 | 106.2 | 106.2 | 90 | 98.7 | 88.8 |
| 1/100 | 93.3 | 88.2 | 82.3 | 100.0 | 103.6 | 103.6 | 96.7 | 103.6 | 100.1 |
| 5/100 | 100.0 | 77.2 | 77.2 | 100.0 | 69.6 | 69.6 | 93.3 | 85.0 | 79.31 |
| 7.5/100 | 73.3 | 72.1 | 52.8 | 50.0 | 65.3 | 32.7 | 96.7 | 84.3 | 81.4 |
| 8.8/100 | 50.0 | 64.2 | 32.1 | 63.3 | 66.8 | 42.3 | 100 | 86.9 | 86.8 |
| 10/100 | 23.3 | 40.5 | 9.5 | 56.7 | 64.5 | 36.5 | 73.3 | 72 | 52.7 |
| 50/100 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.7 | 63.7 | 4.27 |

FUENTE: Elaboración propia

El PGR del biol de piso en las diluciones 0.1/100, 1/100 y 5/100 fueron 100%, del cual la dilución 5/100 presento desarrollo de radículas limitada. El PGR del biol mezcla, la dilución 8.8/100 presento 100% de germinación y buen crecimiento de radículas. La dilución 50/100 de biol jaula y piso no presentó semillas germinadas, excepto biol mezcla pero presenta una germinación menor del 10%, debido a una alta toxicidad en las semillas de maíz por la concentración de biol.

En la Figura 34 se aprecia el índice de germinación de las semillas de maíz en distintas diluciones de los bioles jaula, piso y mezcla a las 120 horas. Los IG fueron superior al 80% son las diluciones 0.1/100 y 1/100 de los tres tipos de biol, además las diluciones 7.5/100 y 8.8/100 de biol mezcla, que según Zucconi et al (1981) citado por Varnero et

al. (2007) indica ausencia de sustancias tóxicas o están en muy bajas concentraciones. Para el caso de estos tipos de bioles más que tratarse de sustancias tóxicas sería la concentración óptima necesaria para el normal desarrollo de las plántulas, sin embargo, la dilución 0.1/100 y 1/100 del biol piso supera el valor de 100%, esto puede ser considerado como fitonutriente o fitoestimulante. (Zucconi, 1981)

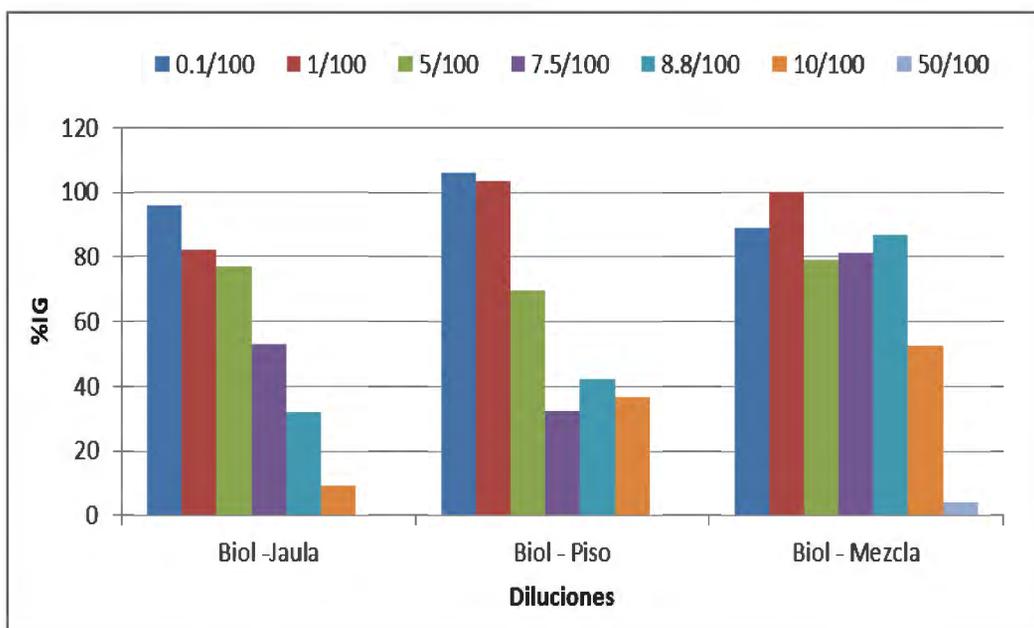


Figura 34: % Índice de germinación de los tres tipos de biol

Las diluciones 5/100 y 7.5/100 de biol jaula, 5/100 de piso y 5/100 y 10/100 de mezcla se encuentran entre el rango de IG 80% a 50% que indica presencia moderada de las sustancias fitotóxicas debido a las altas concentraciones de producto reflejado en pH ligeramente ácido que afecta en la absorción de los requerimientos de las plántulas (Kupper et al 2002 citado por Peralta, 2010).

En los tres tratamientos, las diluciones que resultaron ser menores del 50% indican que las concentraciones de los nutrientes y las altas concentraciones de sales impiden el crecimiento normal de las plántulas en longitud y forma de las radículas así mismo como la germinación normal de las semillas. A medida que se aumenta la dilución de biol jaula, la toxicidad es mayor esto probablemente se debe a su composición microbiológica inicial.

V. CONCLUSIONES

- Se determinó que la concentración de nutrientes de la gallinaza en piso fresco es mayor que jaula y mezcla debido a la propiedad de retener nutrientes del material acompañante que es viruta. El diferente manejo de los residuos en los diferentes tipos de crianza influye en la concentración de nutrientes del estiércol.
- Se reconoce que la gallinaza fresca es una alternativa como abono orgánico según sus análisis agronómicos sin embargo tendría un riesgo en la salud por el contenido de coliformes superior a los límites permitidos por la EPA. Los tres de gallinazas evaluadas tienen contenidos de coliformes superiores a lo establecido por las normas, por lo tanto su uso directo como fertilizante es baja.
- Durante la digestión de la gallinaza, los valores de pH y temperatura fueron descendiendo por la acumulación de ácidos grasos inhibiendo el crecimiento de microorganismos que crecen en pH neutros y retardar la producción de metano, por lo que podríamos suponer que los digestores se encontraban en la fase acidogénica.
- La cantidad de coliformes fecales y totales en los tres bioles de gallinaza resultantes cumplen con los estándares para calidad de agua de riego y como fertilizante según el MINAM y EPA respectivamente. Sin ningún pre tratamiento de la gallinaza a 90 días se logró reducir el contenido de coliformes fecales y totales
- El biol de gallinaza en piso presentó mayor concentración de macro y micro nutrientes que los otros dos tipos de biol. En comparación a otros tipos de biol de otros animales, la gallinaza presenta mejor concentraciones de nitrógeno y contenido de materia orgánica.
- El análisis de germinación de semilla se demostró que el biol de jaula, piso y mezcla en diluciones 0.1/100 y 1/100 el IG es superior a 80%. La aplicación de biol de gallinaza en las dosis mencionadas no existe riesgo de fitotoxicidad.

- Se demostró que a diluciones mayores de 8.8/100 de los bioles jaula, piso y mezcla presentó altas concentraciones de sales que impidieron el crecimiento normal de las plántulas en longitud y forma de las radículas así mismo como la germinación normal de las semillas.
- De acuerdo al análisis de varianza, el biol mezcla a pesar de aparentar ser un fertilizante de baja valor nutricional en comparación a biol piso, el biol mezcla tiene mayor IG a un rango mayor de dosis para la aplicación foliar hacia cultivos. Al ser un punto intermedio se soluciona los riesgos de toxicidad por exceso y deficiencia de nutrientes al cultivo.
- Se demostró que el biol piso presenta mejor calidad de biol por la concentración mayor de macronutrientes esenciales para las plantas, además de que es considerado un fitonutriente a una aplicación diluida de 0.1/100 y 1/100.
- El presente estudio demuestra que bajo condiciones naturales, sin manipulación de la muestra y condiciones rigurosas del proceso, se puede obtener un biol de buena calidad, producto que se considera de alto valor agronómico. Esta técnica puede constituirse entonces, en una alternativa al manejo de los residuos orgánicos de la actividad avícola.

VI. RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos se presentan las siguientes recomendaciones:

- Diseñar biodigestores con un sistema de agitación para permitir la mezcla del sustrato fresco con la población bacteriana así evitar la formación de costra dentro del biodigestor.
- Efectuar estudios del biosol a partir de la gallinaza en crianza piso y jaula, para analizar su potencial de uso como abono orgánico sólido.
- El monitoreo de temperatura se recomienda utilizar equipos digitales de medición continua para analizar el proceso de digestión en las cuatro fases.
- La medición de pH mediante un equipo digital para no interferir con el proceso de digestión y el riesgo de incorporar aire al extraer el biol.
- Realizar un análisis proximal de % de grasa, proteína, fibra y lignina de la gallinaza de jaula y piso, para evaluar las fases del proceso de digestión anaerobia.
- Realizar estudios de mezcla de gallinaza con otros sustratos que permita acelerar el proceso de digestión e incrementar las concentraciones de nutrientes.
- Diseñar un biodigestor de una mayor escala para aplicar en el tratamiento de la cantidad de gallinaza producida en la granja de aves de la UNALM.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **Almeida Menchola Mabel.** 2007. Viabilidad del proceso de biodigestion utilizando excretas de cerdo al parque porcino de Ventanilla. Tesis Ingeniero Ambiental UNALM. Lima, Perú. 24-33pp.
- [2] **APA (Asociación Peruana de Avicultura, PE).** [En línea] <<http://www.apavic.com/html/sections/cuadros>>[Consulta: 03 noviembre 2011].
- [3] **Aparcana Robles Sandra.** 2008. Estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso “Fermentación anaeróbica” para producción de Biogás. German ProfECGmbH. Perú, 2-4pp.
- [4] **AEDES (Asociación Especializada para el Desarrollo Sostenible, PE).** 2006. Manual de Elaboración de Abono Foliar Biol. 10-11pp.
- [5] **Brechelt Andrea.** 2004. Manejo Ecológico del Suelo. Fundación Agricultura y Medio Ambiente (FAMA). República Dominicana.
- [6] **Calderón Agüero, Jesús O.; Elías Iglesia, Arabel.** 2006. Contribución a la Suplementación Ovina con Pollinaza Fermentada (Vitafert) y cuatro niveles de Melaza. Revista Electrónica de Veterinaria, vol. VII, núm. 10. España. 4 pp.
- [7] **Castillo Morales Gabriela.** 2004. Ensayos Toxicológicos y Métodos de Evaluación de Calidad de Aguas. Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México. 71 - 79pp.
- [8] **Chaboussou Francis.** 1987. La teoría de la trofobiosis. Instituto de Desarrollo y Medio Ambiente. Brasil.1-26 pp.
- [9] **Colque Tomas, Rodríguez David; Mujica Angelet.al.** 2005. Producción de abono liquido natural y Ecológico. Estación experimental Illpa, Perú 4pp.
- [10] **Directiva 2008/1/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.** [En línea] <<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:024:0008:0029:es:PDF>> [Consulta: 10 de Noviembre del 2011]
- [11] **Espejo Alexander.** 2007. Efecto de fertilización foliar orgánica a base de Bioles en la producción camu Myciariadubia en un Entisols de Pucallpa. Tesis Ingeniero Agrónomo – Instituto de Investigación de la Amazonia peruana. Pucallpa, Perú. 21-22
- [12] **Estrada Pareja Mónica María.** 2005. Manejo y procesamiento de la Gallinaza. Revista Lasallista de investigación. Antioquia, Colombia. 43-48pp.

- [13] **FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación, IT).** 1999. Guía para el manejo eficiente de la nutrición de las plantas. 3-16 pp.
- [14] **Ferrer i Martí Ivet.** 2008. Study of the effect of process parameters on the thermophilic anaerobic digestion of sewage sludge, evaluation of a thermal sludge pre – treatment and overall energetic assessment. PhD tesis de la Universidad Autónoma de Barcelona. España. 13 – pp
- [15] **García Yaneisy y LonWo Esmeralda.** 2007. Efecto de los residuales avícolas en el ambiente. Instituto de Ciencia Animal, Cuba. 1-6 pp.
- [16] **García, Yaneisy; Elías, A.; Herrera, F.R.** 2005. Dinámica microbiana de la fermentación in vitro de las excretas de gallinas ponedoras. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, vol. 39, núm. 1, pp. 75-79.
- [17] **Guevara Vega, Antonio.** 1996. Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima, Perú. 12 -21pp
- [18] **Henríquez L, Mantilla J y Niño M.** 2006. Influencia de la temperatura interna en biodigestores tipo batch cargados con pollinaza. Colombia.1-2pp.
- [19] **Hilbert, Jorge.** 2006. Manual para producción de biogás. Instituto de Ingeniera rural. I.N.T.A Castelar. Buenos Aires, Argentina. 4 – 14pp.
- [20] **INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática, PE).** Producción Nacional –Octubre 2011. Informe Técnico N^o010.
- [21] **INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática, PE).** [En línea] <<http://www.inei.gob.pe/perucifrasHTM/infeco/cuadro.asp?cod=3863&name=pr19&ext=gif>> [Consulta: 25 de Abril del 2011]
- [22] **Instituto Colombiano Agropecuario.** 2005. Resolución 189 “Sanitización de gallinaza o pollinaza”.Colombia.
- [23] **International Resources Group (IRG) y el Centro Nacional de Producción más Limpia de Honduras (CNP+LH).** 2009. Guía de Producción más limpia para la producción avícola. AGA & Asociados – Consultores en comunicación. Republica de Honduras. 34-40 pp.
- [24] **Iparraguirre Salvatierra, Ronald.** 2007. Tipos de excretas y degradación aeróbica del estiércol en el compostaje. Tesis para optar al título de Ing. Zootecnista. Lima – Perú. Pág. 29.

- [25] **Ley General de Residuos Sólidos N° 27314**, Decreto Supremo N° 057-2004-PCM
- [26] **Mario E. Tapia y Ana María Fries**. 2007. Guía de campo de los cultivos andinos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. Lima, Perú. 198 pp.
- [27] **Martí Ortega Nuria**. 2006. Phosphorusprecipitation in AnarobicDigestionProcess. Boca Raton. Florida, USA. 4-15pp.
- [28] **Méndez Novelo, R; Castillo Borges, E.; Vázquez Borges, E.**2009. Estimación del potencial contaminante de las granjas porcinas y avícolas del estado de Yucatán. Ingeniería Revista Académica. México. Vol. 13, Núm. 2, pp. 13-21.
- [29] **Mendizabal Nieto Yerko Ted**. 2003. Evaluación del efecto de biol, bioactivos y fertilización potásica en el rendimiento y calidad del maíz morado. Tesis para optar al título de Ingeniero Agrónomo- UNALM. Lima, Perú. 30-31pp.
- [30] **Meza Contreras Victor**. 2011. Segundo curso práctico “Diseño, Operación y Desempeño de Biodigestores Familiares para la Producción de Biogás y Fertilizante Orgánico”. Facultad de Ciencias, UNALM.
- [31] **MINAG (Ministerio de Agricultura, PE)**. 2010. Producción Pecuaria e Industria Avícola. Oficina de estudios económicos y estadísticos. 11, 14.
- [32] **MINAG (Ministerio de Agricultura, PE)** Situación de las actividades de crianza y producción. [En línea] < <http://www.minag.gob.pe/pecuaria/situacion-de-las-actividades-de-crianza-y-produccion.html> > [Consulta; 27 de Noviembre 2011]
- [33] **MINAE (Ministerio de Ambiente y Energía Decreto. Costa Rica)**. [En línea] < <http://www.senasa.go.cr/senasaweb/Documentos/legislacion/29145-MAG-S-MINAE.htm> > [Consulta: 25 de Abril del 2011]
- [34] **Pacheco A. J. Sauri, Ma. Rosa R. Cabrera, Armando S.** 1997. Impacto de la Porcicultura en el Medio Ambiente. Ingeniería, Revista Académica de la Facultad de Ingeniería. Yucatán, México. Vol 1 No. 3 pp.53-58.
- [35] **Pavón Chocano Antonio**. 2003. Instalación de riego por goteo. Proyecto de Fin de Carrera para la Especialidad de Explotaciones Agropecuarias de la Universidad de Castilla. La Mancha, España. 69-84 pp.
- [36] **Peralta Veran Rosario Liliana**. 2010. Determinación de parámetros óptimos en la producción de fastbiol usando las excretas del ganado lechero del establo de la UNALM. Trabajo de investigación para optar el título de Biólogo – UNALM. Lima, Perú. 19-20, 33-38, pp

- [37] **Reglamento de Instalación y Funcionamiento de Granjas Avícolas y Plantas de Incubación.** Decreto Supremo N° 019-97-AG. Ministerio de Agricultura del Perú.
- [38] **Reglamento técnico para los productos orgánicos.** Decreto Supremo N° 044 2006-AG. Ministerio de Agricultura del Perú.
- [39] **Reglamento de Control y erradicación de la Enfermedad de Newcastle.** Decreto Supremo N°010 -2003 – AG. Ministerio de Agricultura del Perú.
- [40] **Resolución 46 “Normas sobre el estiércol de gallina”.** Gaceta Oficial de la República de Venezuela No. 34.030 del 16 de Agosto de 1988.
- [41] **Restrepo Rivera Jairo.** 2001. Elaboración de abonos orgánicos fermentados y biofertilizantes foliares. IICA, Costa Rica. 19, 121pp
- [42] **Ricardo Melgar.** 2005. Aplicación foliar de micronutrientes. INTA EEA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria). Consultado el 23 de Noviembre 2011. Disponible en:
<http://www.fertilizando.com/publicaciones/publicaciones.asp>
- [43] **Rivas Solano, Olga; Faith Vargas, Margie; Guillén Watson, Rossy.** 2010. Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad. Tecnología en Marcha, Vol. 23, N.º 1. Costa Rica. 39-46 pp.
- [44] **Rivera Salvador Victor.** 2010. Estudio cinético de la digestión anaeróbica termofílica de pollinaza a escala piloto. Tesis de Maestría Ciencias en Bioprocesos. Instituto Politécnico Nacional. La laguna de Ticoman, México. 4 – 10pp.
- [45] **Ruth Huayta Mango ADES.** 2006. Manual de elaboración de abono foliar biol. Perú. 7-9; 24-25 pp.
- [46] **Soria Fregoso Manuel, Ferrera-Cerrato Ronald, Etchevers Barra Jorge.** 2000. Producción de biofertilizantes mediante biodigestion de excreta líquida de cerdo. Instituto tecnológico agropecuario. México. 354-355 pp.
- [47] **Teresita Murillo.** 1999. Alternativas de uso para la gallinaza. Congreso nacional Agronómico
- [48] **Uribe, J.; Esrtada, M.; Cordoba, S.; Hernández, L. y Bedoya, D.** 2001. Evaluación de los Microorganismos eficaces (E.M) en producción de abono orgánico a partir de estiércol de aves de jaula. Colombia. 164-172 pp.

ANEXOS

ANEXO 1: Calculo de relación carbono/ nitrógeno de los estiércoles frescos de gallinaza

La formula que se uso para los cálculos de los pesos de gallinaza y rastrojo de maiz para cargar los biodigestores fue:

A partir de la ecuación de C/N

$$\frac{C}{N} = \frac{C(\text{gallinaza}) * x1 + C(\text{rastrojo}) * x2}{N(\text{gallinaza}) * x1 + N(\text{rastrojo}) * x2}$$

A partir de la ecuación de solidos totales

$$ST = \frac{ST(\text{gallinaza}) * x1 + ST(\text{rastrojo}) * x2}{80}$$

Donde: *x1*: peso de la gallinaza (gr)

x2: peso del rastrojo de maíz (gr)

Relación C/N de gallinaza en jaula

| Datos: | Gallinaza jaula | Rastrojo de maiz |
|----------------------|-----------------|------------------|
| Carbono (C) | 31.71 | 51.9 |
| Nitrogeno (N) | 3.24 | 0.94 |
| Solidos totales (ST) | 31.37 | 90.8 |

| | |
|---|--|
| <p>Relacion C/N = 30</p> $30 = \frac{31.71 * x1 + 51.9 * x2}{3.24 * x1 + 0.94 * x2}$ $x1 = 0.36 * x2$ | <p>Solidos Totales = 10</p> $10 = \frac{31.71 * x1 + 90.8 * x2}{80}$ $x2 = 627.2 \text{ gramos}$ $x1 = 225.8 \text{ gramos}$ |
|---|--|

Usando regla de tres:

Gallinaza jaula = 720 gramos

Rastrojo de maiz = 691 gramos

Relación C/N de gallinaza en piso

| Datos: | Gallinaza piso | Rastrojo de maíz |
|-----------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Carbono (C) | 38.7 | 51.9 |
| Nitrogeno (N) | 3.37 | 0.94 |
| Solidos totales (ST) | 93.12 | 90.8 |

| | |
|--|--|
| <p>Relacion C/N = 30</p> $30 = \frac{38.7 * x1 + 51.9 * x2}{3.37 * x1 + 0.94 * x2}$ $x1 = 0.38 * x2$ | <p>Solidos Totales = 10</p> $10 = \frac{93.12 * x1 + 90.8 * x2}{80}$ $x2 = 507.2 \text{ gramos}$ $x1 = 192.7 \text{ gramos}$ |
|--|--|

Gallinaza piso = 207 gramos

Rastrojo de maíz = 559 gramos

Relación C/N de gallinaza mezcla

| Datos: | Gallinaza mezcla | Rastrojo de maiz |
|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Carbono (C) | 35.52 | 51.9 |
| Nitrogeno (N) | 3.23 | 0.94 |
| Solidos totales (ST) | 59.41 | 90.8 |

| | |
|---|--|
| <p>Relacion C/N = 30</p> $30 = \frac{35.52 * x1 + 51.9 * x2}{3.23 * x1 + 0.94 * x2}$ $x1 = 0.39 * x2$ | <p>Solidos Totales = 10</p> $10 = \frac{59.41 * x1 + 90.8 * x2}{80}$ $x2 = 561.6 \text{ gramos}$ $x1 = 219 \text{ gramos}$ |
|---|--|

Gallinaza mezcla = 369 gramos
gramo

Rastrojo de maíz = 619

ANEXO 2: Cuadro de datos de evaluación de pH

| Día | GALLINAZA DE JAULA | | GALLINAZA DE PISO | | MEZCLA DE GALLINAZAS | |
|-----|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|----------------------|----------------------|
| | Gallinaza de jaula | Gallinaza de jaula | Gallinaza de piso | Gallinaza de piso | Mezcla de gallinazas | Mezcla de gallinazas |
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 1 | 6.93 | 7.11 | 6.66 | 6.87 | 6.55 | 6.86 |
| 5 | 5.68 | 5.78 | 6.15 | 6.17 | 5.66 | 5.63 |
| 6 | 5.56 | 5.56 | 5.98 | 5.81 | 5.62 | 5.42 |
| 7 | 5.50 | 5.57 | 5.75 | 5.77 | 5.47 | 5.35 |
| 8 | 5.49 | 5.48 | 5.60 | 5.68 | 5.39 | 5.33 |
| 9 | 5.41 | 5.45 | 5.52 | 5.57 | 5.36 | 5.28 |
| 12 | 5.26 | 5.31 | 5.35 | 5.43 | 5.29 | 5.24 |
| 13 | 5.25 | 5.27 | 5.35 | 5.40 | 5.42 | 5.37 |
| 14 | 5.18 | 5.24 | 5.31 | 5.31 | 5.33 | 5.15 |
| 15 | 5.16 | 5.23 | 5.29 | 5.36 | 5.26 | 5.14 |
| 16 | 5.18 | 5.22 | 5.29 | 5.31 | 5.23 | 5.10 |
| 19 | 5.16 | 5.21 | 5.28 | 5.36 | 5.23 | 5.09 |
| 20 | 5.17 | 5.21 | 5.27 | 5.30 | 5.21 | 5.08 |
| 21 | 5.16 | 5.19 | 5.25 | 5.30 | 5.20 | 5.06 |
| 22 | 5.16 | 5.21 | 5.26 | 5.29 | 5.20 | 5.08 |

| Día | Gallinaza de jaula | Gallinaza de jaula | Gallinaza de piso | Gallinaza de piso | Mezcla de gallinazas | Mezcla de gallinazas |
|-----|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------|----------------------|----------------------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 27 | 5.19 | 5.19 | 5.24 | 5.28 | 5.21 | 5.12 |
| 28 | 5.18 | 5.21 | 5.25 | 5.29 | 5.23 | 5.10 |
| 29 | 5.16 | 5.21 | 5.27 | 5.29 | 5.23 | 5.10 |
| 30 | 5.19 | 5.20 | 5.25 | 5.30 | 5.21 | 5.09 |
| 31 | 5.15 | 5.18 | 5.23 | 5.28 | 5.19 | 5.04 |
| 34 | 5.17 | 5.21 | 5.24 | 5.27 | 5.22 | 5.10 |
| 35 | 5.16 | 5.20 | 5.25 | 5.28 | 5.22 | 5.13 |
| 36 | 5.17 | 5.18 | 5.23 | 5.32 | 5.22 | 5.11 |
| 38 | 5.18 | 5.20 | 5.24 | 5.37 | 5.22 | 5.10 |
| 41 | 5.18 | 5.21 | 5.23 | 5.28 | 5.25 | 5.10 |
| 42 | 5.18 | 5.23 | 5.24 | 5.30 | 5.23 | 5.12 |
| 49 | 5.18 | 5.21 | 5.23 | 5.25 | 5.21 | 5.11 |
| 56 | 5.20 | 5.23 | 5.23 | 5.28 | 5.24 | 5.11 |
| 63 | 5.19 | 5.21 | 5.20 | 5.27 | 5.26 | 5.13 |
| 70 | 5.20 | 5.23 | 5.22 | 5.29 | 5.25 | 5.14 |
| 77 | 5.20 | 5.26 | 5.24 | 5.35 | 5.28 | 5.18 |
| 84 | 5.21 | 5.24 | 5.21 | 5.29 | 5.26 | 5.17 |
| 90 | 5.16 | 5.17 | 5.13 | 5.21 | 5.23 | 5.10 |

ANEXO 3: Cuadro de datos de evaluación de temperatura

| DIA | GALLINAZA DE JAULA | | | | GALLINAZA DE PISO | | | | MEZCLA DE GALLINAZAS | | | |
|-----|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|
| | Gallinaza de jaula 1 | | Gallinaza de jaula 2 | | Gallinaza de piso 1 | | Gallinaza de piso 2 | | Mezcla de gallinazas 1 | | Mezcla de gallinazas 2 | |
| | T° fase liquida | T° fase solida | T° fase liquida | T° fase solida | T° fase liquida | T° fase solida | T° fase liquida | T° fase solida | T° fase liquida | T° fase solida | T° fase liquida | T° fase solida |
| 1 | 25.74 | 26.24 | 26.11 | 26.15 | 27.62 | 32.74 | 27.59 | 30.42 | 27.95 | 26.42 | 26.19 | 26.27 |
| 2 | 26.90 | 27.07 | 26.72 | 26.94 | 28.43 | 32.70 | 28.33 | 30.30 | 28.53 | 27.76 | 26.58 | 26.24 |
| 5 | 25.75 | 26.01 | 25.90 | 26.05 | 26.51 | 30.01 | 27.49 | 29.16 | 27.71 | 26.95 | 25.92 | 25.20 |
| 6 | 24.98 | 24.86 | 24.72 | 24.88 | 25.82 | 28.99 | 26.39 | 28.19 | 26.20 | 25.47 | 24.80 | 24.13 |
| 7 | 23.74 | 24.05 | 23.64 | 24.00 | 24.36 | 28.10 | 25.04 | 27.87 | 25.45 | 25.02 | 24.30 | 23.54 |
| 8 | 25.81 | 25.40 | 24.75 | 25.20 | 26.03 | 30.00 | 26.57 | 29.10 | 26.54 | 26.25 | 25.32 | 24.70 |
| 9 | 25.52 | 26.00 | 25.30 | 25.81 | 26.54 | 30.70 | 27.22 | 30.01 | 26.89 | 26.88 | 26.02 | 25.47 |
| 12 | 25.38 | 25.76 | 25.47 | 25.90 | 26.60 | 31.02 | 28.20 | 30.00 | 26.01 | 26.60 | 25.93 | 25.44 |
| 13 | 26.20 | 26.57 | 26.22 | 26.62 | 27.17 | 31.30 | 27.90 | 30.40 | 26.45 | 27.22 | 26.41 | 26.02 |
| 14 | 25.70 | 26.00 | 25.70 | 26.10 | 26.63 | 30.94 | 27.40 | 29.90 | 25.81 | 26.56 | 25.96 | 25.30 |
| 15 | 26.90 | 27.64 | 26.63 | 27.58 | 27.84 | 33.13 | 28.78 | 32.20 | 27.19 | 28.37 | 27.66 | 27.50 |
| 16 | 27.70 | 28.15 | 28.80 | 28.46 | 28.55 | 33.81 | 29.10 | 31.92 | 27.10 | 28.43 | 27.40 | 27.20 |
| 19 | 26.73 | 27.47 | 26.76 | 27.40 | 27.23 | 32.61 | 28.43 | 31.39 | 26.10 | 27.91 | 27.05 | 26.83 |
| 20 | 26.10 | 26.60 | 26.03 | 26.62 | 26.53 | 31.48 | 27.78 | 30.45 | 25.20 | 27.18 | 26.27 | 26.01 |
| 20 | 26.10 | 26.60 | 26.03 | 26.62 | 26.53 | 31.48 | 27.78 | 30.45 | 23.30 | 23.87 | 26.27 | 26.01 |
| 21 | 24.10 | 24.40 | 23.87 | 24.44 | 24.41 | 28.55 | 25.95 | 28.15 | 23.48 | 25.66 | 24.35 | 23.87 |
| 22 | 24.35 | 24.76 | 24.52 | 25.03 | 24.95 | 29.25 | 26.21 | 28.79 | 22.73 | 25.64 | 24.70 | 24.23 |
| 26 | 24.32 | 24.81 | 24.51 | 25.05 | 24.83 | 29.66 | 26.36 | 28.70 | 27.95 | 26.42 | 24.76 | 24.32 |

| DIA | GALLINAZA DE JAULA | | | | GALLINAZA DE PISO | | | | MEZCLA DE GALLINAZAS | | | |
|-----|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|
| | Gallinaza de jaula 1 | | Gallinaza de jaula 2 | | Gallinaza de piso 1 | | Gallinaza de piso 2 | | Mezcla de gallinazas 1 | | Mezcla de gallinazas 2 | |
| | Tº fase liquida | Tº fase solida | Tº fase liquida | Tº fase solida | Tº fase liquida | Tº fase solida | Tº fase liquida | Tº fase solida | Tº fase liquida | Tº fase solida | Tº fase liquida | Tº fase solida |
| 28 | 24.00 | 24.37 | 24.02 | 24.54 | 24.00 | 29.06 | 25.81 | 28.21 | 23.21 | 26.55 | 24.48 | 23.97 |
| 29 | 24.40 | 25.07 | 23.78 | 24.92 | 24.50 | 29.41 | 26.27 | 28.56 | 21.80 | 25.19 | 24.67 | 24.20 |
| 30 | 23.71 | 24.14 | 23.52 | 24.15 | 23.50 | 28.61 | 25.34 | 27.81 | 22.00 | 25.61 | 24.10 | 23.64 |
| 31 | 24.20 | 24.52 | 24.10 | 24.64 | 24.13 | 29.23 | 26.10 | 28.47 | 21.00 | 24.75 | 24.50 | 24.10 |
| 34 | 22.80 | 22.99 | 22.99 | 23.36 | 22.79 | 27.72 | 24.84 | 26.94 | 21.24 | 25.45 | 23.13 | 22.61 |
| 35 | 23.48 | 23.57 | 23.12 | 23.95 | 23.27 | 28.16 | 25.40 | 27.57 | 19.47 | 24.15 | 23.79 | 23.40 |
| 36 | 24.43 | 24.63 | 24.53 | 24.80 | 24.04 | 29.10 | 26.28 | 28.28 | 19.71 | 24.82 | 24.59 | 24.01 |
| 38 | 25.56 | 25.85 | 25.53 | 25.85 | 24.76 | 30.38 | 27.30 | 29.56 | 20.24 | 25.63 | 25.47 | 25.18 |
| 41 | 23.48 | 23.67 | 23.70 | 23.81 | 22.64 | 28.11 | 25.49 | 27.32 | 20.50 | 26.66 | 23.73 | 23.10 |
| 42 | 23.49 | 23.90 | 23.59 | 24.18 | 22.39 | 28.88 | 25.47 | 28.15 | 17.46 | 24.81 | 23.81 | 23.50 |
| 43 | 23.59 | 23.80 | 23.73 | 23.96 | 22.43 | 28.16 | 25.58 | 27.54 | 16.90 | 24.89 | 23.89 | 23.28 |
| 44 | 24.39 | 24.81 | 24.33 | 24.93 | 22.96 | 29.50 | 26.32 | 28.80 | 16.76 | 24.90 | 24.74 | 24.40 |
| 45 | 24.16 | 24.47 | 24.37 | 24.61 | 22.77 | 28.24 | 26.25 | 28.24 | 16.94 | 25.73 | 24.50 | 24.00 |
| 48 | 23.57 | 24.03 | 23.77 | 24.21 | 21.68 | 28.90 | 25.67 | 28.17 | 16.44 | 25.58 | 24.00 | 23.72 |
| 49 | 22.19 | 22.46 | 22.41 | 22.74 | 20.27 | 27.12 | 24.31 | 26.48 | 14.17 | 25.07 | 22.52 | 22.00 |
| 50 | 23.03 | 23.36 | 22.88 | 23.37 | 20.42 | 28.24 | 24.50 | 26.75 | 12.50 | 23.66 | 23.40 | 23.56 |
| 51 | 24.05 | 24.38 | 24.08 | 24.53 | 21.63 | 29.16 | 26.00 | 27.95 | 24.90 | 24.97 | 24.47 | 24.54 |
| 52 | 24.18 | 24.42 | 24.21 | 24.40 | 21.64 | 28.62 | 26.11 | 27.83 | 25.70 | 25.50 | 24.45 | 23.97 |
| 55 | 22.26 | 22.50 | 22.33 | 22.55 | 19.28 | 27.08 | 24.10 | 26.00 | 25.90 | 25.48 | 22.54 | 22.21 |
| 56 | 22.31 | 22.51 | 22.47 | 22.74 | 19.28 | 26.92 | 24.24 | 25.83 | 24.00 | 23.57 | 22.57 | 22.11 |

| DIA | GALLINAZA DE JAULA | | | | GALLINAZA DE PISO | | | | MEZCLA DE GALLINAZAS | | | |
|-----|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|
| | Gallinaza de jaula 1 | | Gallinaza de jaula 2 | | Gallinaza de piso 1 | | Gallinaza de piso 2 | | Mezcla de gallinazas 1 | | Mezcla de gallinazas 2 | |
| | Tº fase liquida | Tº fase solida | Tº fase liquida | Tº fase solida | Tº fase liquida | Tº fase solida | Tº fase liquida | Tº fase solida | Tº fase liquida | Tº fase solida | Tº fase liquida | Tº fase solida |
| 57 | 21.41 | 21.75 | 21.30 | 21.91 | 18.13 | 26.56 | 23.45 | 25.40 | 23.40 | 23.02 | 22.00 | 21.70 |
| 58 | 22.10 | 22.31 | 22.16 | 22.52 | 18.71 | 27.13 | 23.40 | 25.63 | 23.60 | 23.40 | 22.36 | 21.85 |
| 59 | 23.65 | 23.98 | 23.52 | 24.26 | 19.82 | 29.34 | 25.34 | 27.58 | 25.10 | 25.00 | 23.86 | 23.80 |
| 62 | 22.14 | 22.28 | 22.39 | 22.61 | 18.27 | 26.76 | 24.10 | 25.63 | 24.20 | 23.50 | 22.40 | 21.76 |
| 63 | 21.71 | 21.98 | 21.89 | 22.37 | 17.61 | 27.74 | 23.83 | 25.65 | 24.00 | 23.25 | 22.08 | 21.62 |
| 64 | 21.92 | 22.01 | 22.11 | 22.26 | 17.72 | 26.30 | 23.89 | 25.23 | 23.90 | 23.22 | 22.17 | 21.30 |
| 65 | 21.43 | 21.72 | 21.53 | 22.15 | 16.91 | 28.09 | 23.38 | 25.29 | 23.10 | 22.96 | 21.69 | 21.16 |
| 66 | 21.86 | 22.06 | 21.90 | 22.40 | 17.10 | 27.84 | 23.70 | 25.46 | 23.40 | 23.14 | 21.97 | 21.38 |
| 67 | 21.93 | 22.22 | 21.99 | 22.60 | 17.05 | 28.69 | 23.79 | 25.71 | 23.30 | 23.23 | 22.05 | 21.56 |
| 70 | 20.35 | 20.34 | 20.58 | 20.52 | 15.40 | 23.93 | 22.47 | 23.49 | 22.70 | 21.61 | 20.60 | 19.50 |
| 71 | 19.06 | 19.08 | 19.16 | 19.49 | 13.78 | 23.11 | 20.98 | 22.14 | 21.20 | 20.43 | 19.20 | 18.40 |
| 72 | 19.45 | 19.47 | 19.34 | 19.74 | 13.81 | 23.81 | 21.29 | 22.51 | 21.20 | 20.73 | 19.52 | 18.81 |
| 73 | 19.85 | 20.10 | 19.81 | 20.46 | 14.05 | 25.06 | 21.64 | 23.22 | 21.70 | 21.23 | 20.04 | 19.57 |
| 74 | 20.32 | 20.82 | 20.55 | 21.24 | 14.60 | 26.15 | 22.38 | 24.07 | 22.10 | 21.92 | 20.69 | 20.43 |
| 76 | 20.53 | 20.54 | 20.64 | 20.80 | 14.50 | 24.15 | 22.47 | 23.61 | 22.70 | 21.75 | 20.56 | 19.67 |
| 77 | 20.31 | 20.70 | 20.29 | 21.09 | 13.84 | 27.60 | 22.28 | 23.99 | 22.20 | 21.74 | 20.44 | 20.35 |
| 78 | 20.73 | 20.81 | 20.80 | 20.98 | 14.30 | 25.17 | 22.73 | 23.97 | 22.70 | 21.93 | 20.75 | 19.93 |
| 79 | 19.52 | 19.54 | 19.57 | 19.87 | 12.98 | 24.94 | 21.44 | 22.69 | 21.50 | 20.86 | 19.58 | 18.87 |
| 80 | 20.05 | 20.20 | 19.95 | 20.39 | 13.19 | 25.64 | 21.84 | 23.28 | 21.80 | 21.29 | 20.04 | 19.34 |
| 83 | 19.72 | 19.74 | 19.76 | 19.81 | 12.59 | 22.65 | 21.58 | 22.61 | 22.10 | 20.92 | 19.78 | 18.74 |

| | | GALLINAZA DE JAULA | | | | GALLINAZA DE PISO | | | | MEZCLA DE GALLINAZAS | | | |
|-----|----------------------|--------------------|----------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|------------------------|----------------------|------------------------|-------------------|--|
| DIA | Gallinaza de jaula 1 | | Gallinaza de jaula 2 | | Gallinaza de piso 1 | | Gallinaza de piso 2 | | Mezcla de gallinazas 1 | | Mezcla de gallinazas 2 | | |
| | Tº fase liquida | Tº fase solida | Tº fase liquida | Tº fase solida | Tº fase liquida | Tº fase solida | Tº fase liquida | Tº fase solida | Tº fase liquida | Tº fase solida | Tº fase liquida | Tº fase solida | |
| 84 | 18.24 | 18.26 | 18.28 | 18.55 | 10.97 | 22.86 | 20.19 | 21.37 | 20.50 | 19.54 | 18.25 | 16.98 | |
| 85 | 17.81 | 17.82 | 17.76 | 18.01 | 10.59 | 22.91 | 19.94 | 20.95 | 20.00 | 19.13 | 18.01 | 17.11 | |
| 86 | 18.18 | 18.26 | 18.02 | 18.43 | 10.04 | 24.41 | 20.00 | 21.32 | 19.90 | 19.36 | 18.13 | 17.49 | |
| 87 | 19.19 | 19.34 | 18.96 | 19.55 | 10.98 | 24.66 | 21.03 | 22.28 | 21.10 | 20.43 | 19.13 | 18.47 | |
| 90 | 19.52 | 19.67 | 19.45 | 19.81 | 11.25 | 24.87 | 21.44 | 22.64 | 21.30 | 20.80 | 19.58 | 18.81 | |

ANEXO 4: Análisis de varianza de la variable pH

El análisis de varianza mediante la distribución T de student permite ver como resultado que ambas pendientes son estadísticamente iguales al nivel de significancia de la diferencia entre dos coeficientes de la regresión (95% de confiabilidad), se puede presumir que las líneas son paralelas mas no superpuestas.

DATOS ESTADISTICOS BIOL DE GALLINAZA

| | N | \bar{x} | \bar{y} | Σxy | $\Sigma(x-\bar{x})(y-\bar{y})$ | $(y-\bar{y})^2$ | b | s_p^2 | Prueba T _(obs) | Prueba T _(tabular) | RESULTADO |
|------------------------|----|-----------|-----------|-------------|--------------------------------|-----------------|---------|---------|---------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Gallinaza de jaula 1 | 34 | 31.62 | 5.28 | 5584.22 | -95.89 | 3.36 | -0.0053 | 0.11 | 0.1262 | 1.6694 | Estadísticamente paralelas |
| Gallinaza de jaula 2 | 34 | 31.62 | 5.32 | 5619.13 | -103.98 | 3.90 | -0.0058 | | | | |
| Gallinaza de piso 1 | 34 | 31.62 | 5.37 | 5642.89 | -133.02 | 3.31 | -0.0074 | 0.11 | -0.1570 | 1.6694 | Estadísticamente paralelas |
| Gallinaza de piso 2 | 34 | 31.62 | 5.42 | 5708.25 | -123.31 | 3.45 | -0.0068 | | | | |
| Mezcla de gallinazas 1 | 34 | 31.62 | 5.32 | 5641.01 | -74.83 | 1.98 | -0.0041 | 0.08 | 0.2112 | 1.6694 | Estadísticamente paralelas |
| Mezcla de gallinazas 2 | 34 | 31.62 | 5.21 | 5514.08 | -86.35 | 3.28 | -0.0048 | | | | |

El análisis de varianza mediante la distribución Normal (Z) permite ver como resultado que las líneas son superpuestas. Para N mayores a 30, cuya varianza se desconoce se utiliza la siguiente formula:

$$Z_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2} = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \sim N(0, 1)$$

DATOS ESTADISTICOS BIOL DE GALLINAZA

| | N | \bar{x} | \bar{y} | Σxy | $(y-\bar{y})^2$ | S^2 | Z observado | Z tabular (99%) | RESULTADO |
|------------------------|----|-----------|-----------|-------------|-----------------|-------|-------------|-----------------|------------------------------------|
| Gallinaza de jaula 1 | 34 | 31.62 | 5.28 | 5584.22 | 3.36 | 0.10 | -0.49726525 | 2.35 | Estadísticamente superpuestas |
| Gallinaza de jaula 2 | 34 | 31.62 | 5.32 | 5619.13 | 3.90 | 0.12 | | | |
| Gallinaza de piso 1 | 34 | 31.62 | 5.37 | 5642.89 | 3.31 | 0.10 | -0.64415901 | 2.35 | Estadísticamente superpuestas |
| Gallinaza de piso 2 | 34 | 31.62 | 5.42 | 5708.25 | 3.45 | 0.10 | | | |
| Mezcla de gallinazas 1 | 34 | 31.62 | 5.32 | 5641.01 | 1.98 | 0.06 | 1.60655738 | 2.35 | Estadísticamente casi superpuestas |
| Mezcla de gallinazas 2 | 34 | 31.62 | 5.21 | 5514.08 | 3.28 | 0.10 | | | |

ANEXO 5: Análisis de varianza de la variable temperatura

Análisis de la variancia mediante la Distribución T de Student

| DATOS ESTADISTICOS BIOL DE GALLINAZA DE JAULA | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-----------|-----------|-------------|--------------------------------|-----------------|---------|---------|---------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| | N | \bar{x} | \bar{y} | Σxy | $\Sigma(x-\bar{x})(y-\bar{y})$ | $(y-\bar{y})^2$ | b | s_p^2 | Prueba T _(obs) | Prueba T _(tabukar) | RESULTADO |
| Jaula 1: temperatura fase liquida | 70.00 | 51.00 | 22.51 | 75348.10 | -5016.17 | 499.50 | -0.0872 | 7.46 | 0.0180 | 1.6564 | Estadísticamente paralelas |
| Jaula 2: temperatura fase liquida | 70.00 | 51.00 | 22.52 | 75359.48 | -5032.84 | 514.76 | -0.0875 | | | | |
| Jaula 1: temperatura fase solida | 70.00 | 51.00 | 22.76 | 76052.77 | -5198.39 | 542.96 | -0.0904 | 7.79 | -0.1575 | 1.6564 | Estadísticamente paralelas |
| Jaula 2: temperatura fase solida | 70.00 | 51.00 | 22.92 | 76760.29 | -5049.32 | 516.38 | -0.0878 | | | | |

| DATOS ESTADISTICOS BIOL DE GALLINAZA DE PISO | | | | | | | | | | | |
|--|----|-----------|-----------|-------------|--------------------------------|-----------------|---------|---------|---------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| | N | \bar{x} | \bar{y} | Σxy | $\Sigma(x-\bar{x})(y-\bar{y})$ | $(y-\bar{y})^2$ | b | s_p^2 | Prueba T _(obs) | Prueba T _(tabukar) | RESULTADO |
| Piso 2: temperatura fase solida | 70 | 51.00 | 26.25 | 87879.64 | -5849.69 | 687.16 | -0.1017 | 8.56 | -0.9987 | 1.6564 | Estadísticamente paralelas |
| Piso 2: temperatura fase solida | 70 | 51.00 | 24.37 | 82128.89 | -4858.75 | 476.61 | -0.0845 | | | | |

| DATOS ESTADISTICOS BIOL DE MEZCLA DE GALLINAZAS | | | | | | | | | | | |
|---|----|-----------|-----------|-------------|--------------------------------|-----------------|---------|---------|---------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| | N | \bar{x} | \bar{y} | Σxy | $\Sigma(x-\bar{x})(y-\bar{y})$ | $(y-\bar{y})^2$ | b | s_p^2 | Prueba T _(obs) | Prueba T _(tabular) | RESULTADO |
| Mezcla 2: temperatura fase liquida | 70 | 51.00 | 22.71 | 75942.47 | -5143.45 | 523.66 | -0.0894 | 8.18 | 0.2503 | 1.6564 | Estadísticamente paralelas |
| Mezcla 2: temperatura fase liquida | 70 | 51.00 | 22.18 | 73802.46 | -5386.26 | 589.12 | -0.0936 | | | | |

El análisis de varianza mediante la distribución Normal (Z).

| DATOS ESTADISTICOS BIOL DE GALLINAZA DE JAULA | | | | | | | | |
|---|----|-----------|-----------|-------------|-------|-------------|-----------------|-------------------------------|
| | N | \bar{x} | \bar{y} | Σxy | S^2 | Z observado | Z tabular (99%) | RESULTADO |
| Jaula 1: temperatura fase liquida | 70 | 51.00 | 22.51 | 499.50 | 7.24 | -0.0218 | 2.35 | Estadísticamente superpuestas |
| Jaula 2: temperatura fase liquida | 70 | 51.00 | 22.52 | 514.76 | 7.46 | | | |
| Jaula 1: temperatura fase solida | 70 | 51.00 | 22.76 | 542.96 | 7.87 | -0.3416 | 2.35 | Estadísticamente superpuestas |
| Jaula 2: temperatura fase solida | 70 | 51.00 | 22.92 | 516.38 | 7.48 | | | |

| DATOS ESTADISTICOS BIOL DE GALLINAZA DE PISO | | | | | | | | |
|--|----|-----------|-----------|-------------|-------|-------------|-----------------|----------------------------------|
| | N | \bar{x} | \bar{y} | Σxy | S^2 | Z observado | Z tabular (99%) | RESULTADO |
| Piso 2: temperatura fase liquida | 70 | 51.00 | 26.25 | 687.16 | 9.96 | 3.8300 | 2.35 | Estadísticamente no superpuestas |
| Piso 2: temperatura fase | 70 | 51.00 | 24.37 | 476.61 | 6.91 | | | |

| | | | | | | | | |
|---|----------|-----------|-----------|-------------|-------|--------------------|------------------------|----------------------------------|
| liquida | | | | | | | | |
| DATOS ESTADISTICOS BIOL DE GALLINAZA DE PISO | | | | | | | | |
| | N | \bar{x} | \bar{y} | Σxy | S^2 | Z observado | Z tabular (99%) | RESULTADO |
| Mezcla 2: temperatura fase liquida | 70 | 51.00 | 22.71 | 523.66 | 7.59 | 1.1042 | 2.35 | Estadísticamente superpuestas |
| Mezcla 2: temperatura fase liquida | 70 | 51.00 | 22.18 | 589.12 | 8.54 | | | |

ANEXO 6: Cuadro de datos de medición de las radículas de las plántulas de maíz

Longitud de la radícula biol jaula

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|---|
| 32 | 35 | 38 | 20 | 40 | 40 | 30 | 25 | 40 | 30 | 38 | 21 | 32 | 20 | 20 | 22 | 22 | 17 | 15 | 19 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 30 | 30 | 40 | 35 | 38 | 30 | 25 | 30 | 28 | 28 | 20 | 29 | 18 | 19 | 15 | 19 | 15 | 15 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 30 | 30 | 35 | 30 | 30 | 25 | 23 | 28 | 25 | 22 | 20 | 27 | 16 | 18 | 15 | 18 | 0 | 15 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 28 | 28 | 27 | 32 | 28 | 30 | 20 | 23 | 28 | 22 | 22 | 18 | 22 | 15 | 17 | 0 | 18 | 0 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 27 | 22 | 25 | 27 | 27 | 24 | 18 | 23 | 28 | 20 | 20 | 18 | 22 | 15 | 15 | 0 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 27 | 20 | 25 | 21 | 25 | 23 | 17 | 20 | 27 | 20 | 20 | 17 | 22 | 15 | 15 | 0 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 27 | 20 | 25 | 20 | 22 | 20 | 16 | 20 | 23 | 18 | 18 | 17 | 21 | 0 | 0 | 0 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | 20 | 25 | 18 | 22 | 20 | 15 | 20 | 22 | 17 | 18 | 17 | 20 | 0 | 0 | 0 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | 19 | 23 | 15 | 21 | 18 | 0 | 20 | 20 | 15 | 17 | 17 | 18 | 0 | 0 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 18 | 22 | | 20 | 15 | 0 | 18 | 20 | 15 | 15 | 17 | 18 | 0 | 0 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Longitud de la radícula biol piso

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|---|---|
| 32 | 35 | 38 | 32 | 43 | 40 | 37 | 37 | 30 | 23 | 23 | 24 | 27 | 18 | 15 | 17 | 20 | 30 | 17 | 22 | 20 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 30 | 30 | 32 | 40 | 35 | 31 | 35 | 28 | 20 | 21 | 22 | 25 | 15 | 0 | 16 | 18 | 21 | 16 | 21 | 16 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 30 | 30 | 30 | 38 | 32 | 30 | 34 | 25 | 19 | 20 | 21 | 24 | 15 | 0 | 16 | 15 | 21 | 15 | 20 | 15 | 0 | 0 | 0 |
| 28 | 28 | 27 | 30 | 28 | 30 | 30 | 32 | 25 | 18 | 19 | 20 | 22 | 14 | 0 | 15 | 15 | 21 | 15 | 18 | 15 | 0 | 0 | 0 |
| 27 | 22 | 25 | 30 | 27 | 25 | 28 | 28 | 24 | 18 | 18 | 19 | 22 | 0 | 0 | 0 | 15 | 20 | 15 | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 27 | 20 | 25 | 27 | 25 | 24 | 28 | 28 | 22 | 18 | 18 | 19 | 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 15 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 27 | 20 | 25 | 25 | 24 | 24 | 25 | 28 | 22 | 15 | 18 | 17 | 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | 20 | 25 | 25 | 22 | 23 | 25 | 27 | 22 | 15 | 18 | 17 | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | 19 | 23 | 20 | 22 | 22 | 25 | 24 | 21 | 15 | 15 | 15 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 18 | 22 | 20 | 22 | 22 | 24 | 22 | 21 | 15 | 15 | 15 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Longitud de la radícula biol piso

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|
| 32 | 35 | 38 | 30 | 30 | 42 | 40 | 28 | 35 | 22 | 25 | 32 | 40 | 27 | 25 | 28 | 32 | 25 | 30 | 24 | 21 | 17 | 0 | 15 |
| 30 | 30 | 30 | 30 | 20 | 36 | 38 | 25 | 28 | 19 | 24 | 30 | 32 | 23 | 25 | 25 | 31 | 22 | 22 | 18 | 16 | 0 | 0 | 0 |
| 28 | 28 | 30 | 29 | 18 | 35 | 35 | 22 | 28 | 19 | 23 | 30 | 30 | 22 | 25 | 24 | 30 | 20 | 22 | 17 | 16 | 0 | 0 | 0 |
| 27 | 22 | 27 | 28 | 15 | 30 | 35 | 22 | 25 | 18 | 23 | 28 | 21 | 20 | 22 | 24 | 28 | 20 | 20 | 17 | 16 | 0 | 0 | 0 |
| 27 | 20 | 25 | 27 | 15 | 28 | 35 | 18 | 24 | 17 | 22 | 25 | 20 | 18 | 22 | 20 | 28 | 19 | 20 | 15 | 15 | 0 | 0 | 0 |
| 27 | 20 | 25 | 25 | 15 | 28 | 35 | 17 | 22 | 15 | 21 | 25 | 18 | 17 | 21 | 18 | 25 | 18 | 18 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | 19 | 23 | 25 | 14 | 25 | 32 | 16 | 20 | 15 | 20 | 22 | 17 | 16 | 20 | 18 | 24 | 18 | 18 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 18 | 22 | 24 | 0 | 25 | 32 | 16 | 20 | 15 | 19 | 22 | 17 | 15 | 20 | 15 | 24 | 17 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 23 | 17 | 21 | 24 | 0 | 24 | 30 | 15 | 20 | 0 | 18 | 20 | 15 | 15 | 20 | 15 | 22 | 15 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | 17 | 20 | 21 | 0 | 22 | 29 | 0 | 19 | 0 | 17 | 20 | 15 | 0 | 18 | 15 | 20 | 15 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

ANEXO 7: Pruebas estadísticas para la prueba de germinación con semillas de maíz

ANALISIS DE ANOVA PARA BIOL DE GALLINAZA DE JAULA

| | |
|----|----------|
| A | 87363.00 |
| B1 | 83555.83 |
| B2 | 83013.76 |
| C | 81169.10 |

| | | |
|-------------------------------|-------------------------------------|------|
| Dentro de grupos | $SC_D = A - B_1$ | 3807 |
| Entre grupos dentro de grupos | $SC_E = B_1 - B_2$ | 542 |
| Entre grupos | $SC_H = B_2 - C$ | 1845 |
| total | $SC_T = SC_D + SC_E + SC_H = A - C$ | 6194 |

| | gl | | SC | | MEDIA CUAD. MC | |
|-------------------------------|-----|-----|-----|------|----------------|-----|
| Entre grupos | H-1 | 7 | SCH | 1845 | SH2 | 264 |
| Entre grupos dentro de grupos | K-H | 16 | SCE | 542 | SE2 | 34 |
| Dentro de grupos | N-K | 153 | SCD | 3807 | SD2 | 25 |
| | N-1 | 160 | SCT | 6194 | | |

F (16,170) TEORICO 1.362

F (16,170) TABLA 1.710

ANALISIS DE ANOVA PARA BIOL GALLINAZA DE PISO

| | |
|----|----------|
| A | 96620.00 |
| B1 | 92707.34 |
| B2 | 92552.47 |
| C | 88402.78 |

| | | |
|-------------------------------|-------------------------------------|------|
| Dentro de grupos | $SC_D = A - B_1$ | 3913 |
| Entre grupos dentro de grupos | $SC_E = B_1 - B_2$ | 155 |
| Entre grupos | $SC_H = B_2 - C$ | 4150 |
| total | $SC_T = SC_D + SC_E + SC_H = A - C$ | 8217 |

| | GI | | SC | | MEDIA CUAD. MC | |
|-------------------------------|-----|-----|-----|------|----------------|-----|
| Entre grupos | H-1 | 7 | SCH | 4150 | SH2 | 593 |
| Entre grupos dentro de grupos | K-H | 16 | SCE | 155 | SE2 | 9.7 |
| Dentro de grupos | N-K | 166 | SCD | 3913 | SD2 | 24 |
| | N-1 | 173 | SCT | 8217 | | |

F (16,170) TEORICO 0.410646

F (16,170) TABLA 1.711

ANALISIS DE ANOVA PARA BIOL MEZCLA DE GALLINAZAS

| | |
|----|--------|
| A | 110702 |
| B1 | 107074 |
| B2 | 104182 |
| C | 103341 |

| | | |
|-------------------------------|-------------------------------------|------|
| Dentro de grupos | $SC_D = A - B_1$ | 3628 |
| Entre grupos dentro de grupos | $SC_E = B_1 - B_2$ | 2892 |
| Entre grupos | $SC_H = B_2 - C$ | 841 |
| total | $SC_T = SC_D + SC_E + SC_H = A - C$ | 7361 |

| | GI | | SC | | MEDIA CUAD. MC | |
|-------------------------------|-----|-----|-----|------|-------------------|-----|
| Entre grupos | H-1 | 7 | SCH | 841 | SH2 | 120 |
| Entre grupos dentro de grupos | K-H | 16 | SCE | 2892 | SE2 | 181 |
| Dentro de grupos | N-K | 189 | SCD | 3628 | SD2 | 19 |
| | N-1 | 196 | SCT | 7361 | | |

F (16,170) TEORICO 9.4157

F (16,170) TABLA 1.699

ANEXO 8: Reporte de fotografías

Recolección de gallinaza:



Gallinaza de crianza de piso



Gallinaza de crianza de jaula

Caracterización de la gallinaza:



Uso de materiales para la caracterización de las muestras



Caracterización de las muestras de gallinaza de piso

Construcción del prototipo:



Conexión de termistores



Conexión de la llave de salida de biol



Prototipo del biodigestor de 8 litros

Bioles obtenidos después de la digestión anaerobia:



Biol de los tres tipos de muestras. De izquierda a derecha: biol jaula, biol piso y biol mezcla

ANEXO 9: Reportes análisis de laboratorio



INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : FANNY MABEL CARHUANCHO LEON
PROCEDENCIA : LIMA/LIMA/LA MOLINA
MUESTRA DE : ESTIERCOL DE GALLINA
REFERENCIA : H.R. 29641
BOLETA : 7484
FECHA : 08-02-11

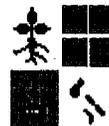
| Nº LAB | CLAVES | pH | C.E. dS/m | M.O. % | N % | P ₂ O ₅ % | K ₂ O % |
|--------|--|------|--------------|-----------|--------|------------------------------------|-----------------------|
| 096 | Estiercol de gallina en Jaula de la Granja de Aves - UNALM | 6.45 | 18.30 | 54.66 | 3.24 | 4.77 | 3.14 |
| 097 | Estiercol de Gallina en Piso | 6.38 | 14.60 | 66.72 | 3.37 | 4.94 | 2.89 |
| 098 | Mezcla de Estiercol de Gallina en Piso y Gallina en Jaula | 6.21 | 16.40 | 61.23 | 3.23 | 4.85 | 2.58 |

| Nº LAB | CLAVES | CaO % | MgO % | Hd % | Na % |
|--------|--|----------|----------|---------|---------|
| 096 | Estiercol de gallina en Jaula de la Granja de Aves - UNALM | 22.60 | 1.35 | 60.88 | 0.73 |
| 097 | Estiercol de Gallina en Piso | 16.58 | 1.12 | 26.08 | 0.68 |
| 098 | Mezcla de Estiercol de Gallina en Piso y Gallina en Jaula | 16.51 | 1.08 | 40.30 | 0.67 |



Ino. Efraim La Torre Martínez
Jefe de Laboratorio

ndf



INFORME DE ENSAYO N° 1101032-1101033-1101034-LMT

SOLICITANTE : FANNY MABEL CARHUANCO LEÓN

DIRECCIÓN : La Molina

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA :

1101032) ESTIERCOL DE GALLINA EN JAULA

1101033) ESTIERCOL DE GALLINA DE PISO

1101034) ESTIERCOL DE GALLINA DE PISO Y JAULA

| | |
|----------------------------|--|
| PROCEDENCIA | : Granja de Aves - UNALM |
| TIPO DE ENVASE | : Bolsa plástica |
| CANTIDAD DE MUESTRA | : 03 muestras x 01 und. x 500 g. aprox. c/u. |
| ESTADO Y CONDICIÓN | : En buen estado y cerrado |
| FECHA DE MUESTREO | : 2011 - 01 - 27 |
| FECHA DE RECEPCIÓN | : 2011 - 01 - 27 |
| FECHA DE INICIO DE ENSAYO | : 2011 - 01 - 27 |
| FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO | : 2011 - 02 - 01 |

RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

| ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO | MUESTRA 1101032 | MUESTRA 1101033 | MUESTRA 1101034 |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|
| ¹ Enumeración de coliformes totales (NMP/g) | 11 x 10 ⁶ | 11 x 10 ⁶ | 20 x 10 ⁵ |
| ¹ Enumeración de coliformes fecales (NMP/g) | 11 x 10 ⁶ | 11 x 10 ⁶ | 20 x 10 ⁵ |

Método:

¹ International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

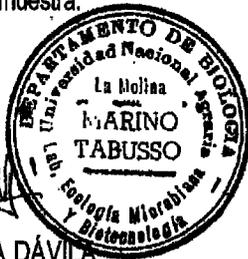
Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita, por un período de 03 meses a partir de la fecha de ingreso de la muestra.



Dra. Doris Zúñiga Dávila

DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 799 5788 / 614 7800 anexo 274

E-mail: lmt@lamolina.edu.pe

La Molina, 03 de Febrero del 2011



INFORME DE ENSAYO N° 1102069 - LMT

SOLICITANTE : FANNY MABEL CARHUANCO LEÓN

DIRECCIÓN : La Molina

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA :
1102069) ESTIERCOL DE GALLINA DE PISO Y JAULA

PROCEDENCIA : Granja de Aves - UNALM
TIPO DE ENVASE : Bolsa plástica
CANTIDAD DE MUESTRA : 01 muestra x 01 und. x 500 g. aprox.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2011 - 02 - 21
FECHA DE RECEPCIÓN : 2011 - 02 - 21
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2011 - 02 - 21
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2011 - 02 - 28

RESULTADOS DE ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

| ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO | MUESTRA 1102069 |
|--|----------------------|
| ¹ Enumeración de coliformes totales (NMP/g) | 70 x 10 ⁶ |
| ¹ Enumeración de coliformes fecales (NMP/g) | 70 x 10 ⁶ |

Método:

¹ International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

Observaciones:

Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita, por un período de 03 meses a partir de la fecha de ingreso de la muestra.

La Molina, 01 de Marzo del 2011



DRA. DORIS ZÚÑIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 799 5788 / 614 7800 anexo 274
E-mail: imt@lamolina.edu.pe



INFORME DE ANALISIS ESPECIAL DE MATERIA ORGANICA

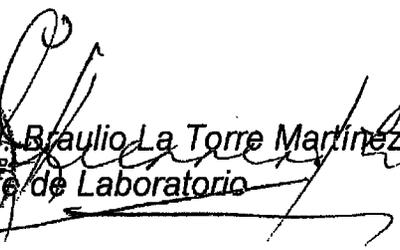
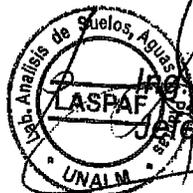
SOLICITANTE : FANNY MABEL CARHUANCHO LEON
PROCEDENCIA : LIMA
MUESTRA DE : BIOL
REFERENCIA : H.R. 31141
BOLETA : 7810
FECHA : 15-06-11

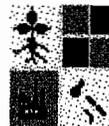
| Nº LAB | CLAVES | pH | C.E. dS/m | Sólidos Totales g/L | M.O. en Solución g/L | N Total mg/L | P Total mg/L | K Total mg/L |
|--------|-----------|------|--------------|---------------------------|----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0522 | M4 - BGJ2 | 5.07 | 20.20 | 30.80 | 18.30 | 1708.00 | 142.08 | 2300.00 |
| 0523 | M5 - BGP2 | 5.08 | 20.60 | 35.00 | 19.60 | 1813.00 | 164.76 | 2500.00 |
| 0524 | M6 - BGM2 | 4.97 | 16.30 | 25.10 | 13.90 | 931.00 | 109.77 | 2224.00 |

| Nº LAB | CLAVES | Ca Total mg/L | Mg Total mg/L | Na Total mg/L |
|--------|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 0522 | M4 - BGJ2 | 1916.00 | 408.00 | 332.00 |
| 0523 | M5 - BGP2 | 2534.00 | 460.00 | 392.00 |
| 0524 | M6 - BGM2 | 1968.00 | 336.00 | 312.00 |

| Nº LAB | CLAVES | Fe Total mg/L | Cu Total mg/L | Zn Total mg/L | Mn Total mg/L | B Total mg/L |
|--------|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| 0522 | M4 - BGJ2 | 82.40 | 0.64 | 3.64 | 9.84 | 3.92 |
| 0523 | M5 - BGP2 | 101.00 | 0.82 | 3.92 | 10.70 | 5.72 |
| 0524 | M6 - BGM2 | 62.40 | 0.32 | 2.16 | 8.96 | 4.67 |

/ndf


Ing. Braulio La Torre Martínez
Jefe de Laboratorio




INFORME DE ENSAYO Nº 1106176 - 1106177 - 1106178 - LMT

SOLICITANTE : FANNY CARHUANCHO LEÓN

DESCRIPCIÓN DEL OBJETO ENSAYADO

MUESTRA : BIOL

1106176) M1 – BGJ1

1006177) M4 – BGJ2

1106178) M2 – BGP1

PROCEDENCIA : Universidad Nacional Agraria La Molina
TIPO DE ENVASE : Botella de Vidrio
CANTIDAD DE MUESTRA : 03 muestras x 01 und. x 500 mL aprox. c/u.
ESTADO Y CONDICIÓN : En buen estado y cerrado
FECHA DE MUESTREO : 2011 - 06 - 07
FECHA DE RECEPCIÓN : 2011 - 06 - 07
FECHA DE INICIO DE ENSAYO : 2011 - 06 - 08
FECHA DE TÉRMINO DE ENSAYO : 2011 - 06 - 13

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA

| Análisis Microbiológico | Muestra 1106176 | Muestra 1106177 | Muestra 1106178 |
|---|--------------------|--------------------|--------------------|
| ¹ Enumeración de coliformes totales (NMP/mL) | <3 | <3 | <3 |
| ¹ Enumeración de coliformes fecales (NMP/mL) | <3 | <3 | <3 |

NOTA: El valor < 3 indica ausencia del microorganismo en ensayo.

Métodos:

¹ International Commission on Microbiological Specifications for Foods. 1983. 2da Ed. Vol 1 Part II, (Trad. 1988) Reimp. 2000. Editorial Acribia.

Observaciones:

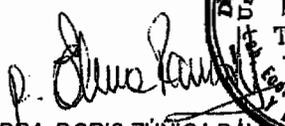
Informe de ensayo emitido sobre la base de resultados de nuestro laboratorio en muestras proporcionadas por el solicitante.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe, sin nuestra autorización escrita.

Validez del documento:

Este documento tiene validez sólo para la muestra descrita, por un periodo de 03 meses a partir de la fecha de ingreso de la muestra.

La Molina, 14 de Junio del 2011


DRA. DORIS ZÚNIGA DÁVILA

Jefe del Laboratorio de Ecología Microbiana
y Biotecnología "Marino Tabusso"
Universidad Nacional Agraria La Molina

Teléfono: 799 5788 / 6147800 anexo 274

E-mail: lmt@lamolina.edu.pe