



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
ESCUELA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS
MENCIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL



**“CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS,
MICROBIOLÓGICAS Y EFECTIVIDAD AGRONÓMICA DEL
ABONO LÍQUIDO BIOL OBTENIDO POR DIGESTIÓN
ANAEROBIA DE ESTIÉRCOL DE ANIMALES CON
RASTROJO”**

TESIS

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS,
CON MENCIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PRESENTADA POR:

Ing. Rogelio Acosta Vidaurre

ASESORA:

Dra. Carmen Rosa Carreño Farfán

LAMBAYEQUE - PERÚ

2019

Características físicas, químicas, microbiológicas y efectividad agronómica del abono líquido Biol obtenido por digestión anaerobia de estiércol de animales con rastrojo

Ing. Rogelio Acosta Vidaurre

AUTOR

Dra. Carmen Rosa Carreño Farfán

ASESORA

Presentada a la Escuela de Postgrado de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo para optar el Grado de: Maestro en Ciencias con mención en Ingeniería Ambiental.

APROBADA POR:

Dr. César Estela Campos
PRESIDENTE DEL JURADO

Dr. Eduardo Julio Tejada Sánchez
SECRETARIO DEL JURADO

M. Sc. José Teodoro Reupo Periche
VOCAL

Marzo, 2019

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado con todo mi cariño a mi familia, de manera especial a mi esposa y a mis hijos Carol, Melisa, Lisseth y Roger, que con su amor y respaldo, me ayudan a alcanzar mis objetivos.

Agradecimientos

A mi patrocinadora de tesis, la Dra. Carmen Rosa Carreño Farfán, por confiar en mí; gracias a sus consejos y correcciones, hoy puedo culminar este trabajo.

A mi querida Universidad, a mis Docentes, por permitirme concluir con una etapa de mi vida, gracias por la paciencia y orientación en el desarrollo de esta investigación.

ÍNDICE

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO I: ANÁLISIS DEL OBJETO DE ESTUDIO	16
1.1 Ubicación	16
1.2 Tipo de estudio y diseño de contrastación de hipótesis	16
1.3 Población y muestra	20
1.4 Variables	20
1.5 Material biológico	20
1.6 Determinación de las características físicas, químicas, microbiológicas y toxicidad de los estiércoles de animales y rastrojo	20
1.7 Formulación de cuatro mezclas de estiércol de animales con rastrojo	22
1.8 Producción de abono líquido Biol por digestión anaerobia de estiércoles de animales con rastrojos.....	23
a. Acondicionamiento de los biodigestores.....	23
b. Preparación de la carga inicial y digestión aerobia	25
c. Digestión anaerobia y obtención del Biol.....	27
d. Análisis físico-químico, microbiológico y toxicidad del abono líquido	27
e. Efectividad agronómica del Biol.....	30

1.9	Análisis estadístico de los datos	34
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO		37
2.1	Antecedentes de la investigación	37
2.2	Base teórica	41
2.2.1	Digestión anaerobia	44
2.2.2	Biofertilizante líquido: Biol	47
2.2.3	Estiércol de animales	48
CAPÍTULO III: RESULTADOS.....		50
4.1	Características físico-químicas, microbiológicas y toxicidad de los estiércoles de animales y rastrojo.....	50
4.2	Mezclas de estiércoles de animales con rastrojo formuladas con una relación C:N de 25 a 26:1	52
4.3	Tiempo de retención para la producción de abono líquido Biol por digestión anaerobia de cuatro estiércoles de animales y rastrojo	53
4.4	Rendimiento y características de los Bioles obtenidos	58
4.5	Efectividad agronómica de dos Bioles en <i>Raphanus sativus</i> L.	61
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN		65
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES.....		70
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES.....		71
CAPÍTULO VII: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		72
ANEXOS		78

Índice de figuras

Figura 1.	Vista satelital del fundo El Ciénago en Lambayeque	17
Figura 2.	Diseño experimental completamente aleatorio para la obtención de Biol por digestión anaerobia de cuatro mezclas de estiércoles con rastrojos.....	18
Figura 3.	Diseño experimental para la determinación de la efectividad agronómica de dos Bioles seleccionados y un testigo absoluto	19
Figura 4.	Digestores de teraftalato de polietileno para la digestión anaerobia.....	24
Figura 5.	Picado del rastrojo para la preparación de la carga inicial de las muestras	26
Figura 6.	Mezcla del estiércol de <i>Cavia porcellus</i> L. “cuy” con rastrojo.....	26
Figura 7.	Filtrado del sobrenadante obtenido en la digestión anaerobia.....	28
Figura 8.	Caldo lauril sulfato de sodio para la determinación de coliformes totales	28
Figura 9.	Caldo lactosa verde brillante para determinación de coliformes fecales	29
Figura 10.	Prueba de germinación de semillas de <i>Raphanus sativus</i> L.....	31
Figura 11.	Semillas germinadas de <i>Raphanus sativus</i> L. germinadas.....	31
Figura 12.	Medición de la radícula de semilla germinada de <i>Raphanus sativus</i> L.....	32
Figura 13.	Parcelas experimentales para el cultivo de <i>Raphanus sativus</i> L. en el fundo El Ciénago, Lambayeque	32

Figura 14. Siembra de semillas de <i>Raphanus sativus</i> L. “rabanito” por la técnica de golpe.....	33
Figura 15. Plántulas de <i>Raphanus sativus</i> L. “rabanito” emergidas después de 4 días de siembra	33
Figura 16. Aplicación del Biol por aspersión foliar en <i>Raphanus sativus</i> L	35
Figura 17. Extracción de las plantas de <i>Raphanus sativus</i> L. “rabanito” en fundo El Ciénago	35
Figura 18. Medición de la altura de las plantas de <i>Raphanus sativus</i> L. “rabanito”	36
Figura 19. Pesado de las raíces de <i>Raphanus sativus</i> L. “rabanito”.....	36
Figura 20. Plantas de <i>Raphanus sativus</i> L. “rabanito” cosechadas, mostrando las raíces y hojas por efecto del Testigo (a), Biol estiércol de aves (b) y Biol estiércol de cuy (c)	63

Índice de tablas

Tabla 1.	Características físico-químicas de los estiércoles de animales y rastrojo	50
Tabla 2.	Características microbiológicas de los estiércoles de animales y rastrojo	51
Tabla 3.	Ensayo de toxicidad y nivel de toxicidad de los estiércoles de animales y rastrojo	51
Tabla 4.	Peso (kg) de los sustratos requeridos para la formulación de cuatro mezclas de estiércoles de vacuno, cuy, aves de engorde y porcino.....	52
Tabla 5.	Porcentajes de humedad y sólidos totales de cuatro mezclas de estiércoles y volumen de agua requerido para alcanzar 8 – 10% de sólidos totales...	53
Tabla 6.	Características físico-químicas de cuatro mezclas de estiércoles y rastrojo a los 0, 30, 45 y 60 días de digestión anaerobia, Lambayeque, 2018.....	54
Tabla 7.	Características microbiológicas de cuatro mezclas de estiércoles y rastrojo a los 0, 30, 45 y 60 días de digestión anaerobia, Lambayeque, 2018.....	56
Tabla 8.	Índice de germinación de <i>Raphanus sativus</i> L. por efecto de cuatro mezclas de estiércoles y rastrojo a los 0, 30, 45 y 60 días de digestión anaerobia	57
Tabla 9.	Niveles de toxicidad en el índice de germinación de <i>Raphanus sativus</i> L. por efecto de cuatro mezclas de estiércoles y rastrojo a los 0, 30, 45 y 60 días de digestión anaerobia	58

Tabla 10.	Rendimiento del Biol obtenido de cuatro mezclas de estiércoles y rastrojo durante 60 días de digestión anaerobia, Lambayeque, 2018.....	59
Tabla 11.	Características físico-químicas y microbiológicas del Biol obtenido durante 60 días de digestión anaerobia de cuatro mezclas de estiércoles de animales y rastrojo, Lambayeque, 2018.....	60
Tabla 12.	Prueba de comparaciones múltiples de Tukey del nitrógeno, fósforo y potasio de los Bioles obtenidos por digestión anaerobia de cuatro mezclas de estiércoles de animales y rastrojo, Lambayeque ,2018.....	61
Tabla 13.	Altura (cm), número de hojas y peso fresco de la raíz de <i>Raphanus sativus</i> L. rabanito por efecto del Biol seleccionado y testigo absoluto.....	61

RESUMEN

Actualmente, la calidad del Biol producido artesanalmente varía sustancialmente, al no existir parámetros que definan su proceso de elaboración. El objetivo de esta investigación fue determinar las características físicas, químicas, microbiológicas y efectividad agronómica del abono líquido Biol obtenido por digestión anaerobia de estiércoles de aves de engorde, *Cavia porcellus* “cuy”, *Sus scrofa domesticus* “porcino” y *Bos taurus* “vacuno” con rastrojo. Se formularon cuatro mezclas de estiércoles de animales con rastrojos en un rango de 25 a 26 en la relación C: N. Los tratamientos correspondieron a estiércol de vacuno (T₁), cuy (T₂), aves de engorde (T₃) y porcino (T₄). Las mezclas se depositaron en digestores de 3L de capacidad junto con los aditivos yogurt, chicha de jora, melaza, cenizas y cáscaras de huevo. Se agregó agua hasta alcanzar 8–15% de sólidos totales y se mantuvo aerobiosis por 7 días y anaerobiosis por 60 días. El tiempo de retención fue de 60 días para la producción de Biol por digestión anaerobia de cuatro mezclas de estiércoles de animales y rastrojo. Como resultados se obtuvieron mayores valores en el rendimiento y NPK así como los menores valores en la CE, coliformes totales y fecales y *E. coli* correspondieron al Biol T₃ (estiércol de aves de engorde) y T₂ (estiércol de cuy). Los Bioles T₃ y T₂ presentaron efectividad agronómica, al incrementar el número de hojas, altura de planta y peso de raíces de rabanito, alcanzándose los mayores incrementos con T₃. Los bioensayos permitieron demostrar la obtención de Biol con características químicas y microbiológicas requeridas y efectividad agronómica.

Palabras claves: abono líquido, Biol, estiércoles de animales, efectividad agronómica.

ABSTRACT

Currently, the quality of the biol produced by hand varies substantially, as there are no parameters that define its production process. The objective of this research was to determine the physical, chemical, microbiological and agronomic effectiveness of Biol liquid fertilizer obtained by anaerobic digestion of broiler feeds, *Cavia porcellus* "cuy", *Sus scrofa domesticus* "porcine" and *Bos taurus* "bovine" with stubble. Four mixtures of animal manure with stubble were formulated in a range of 25 to 26 in the C: N ratio. The treatments corresponded to cow manure (T1), guinea pig (T2), fattening (T3) and swine (T4). The mixtures were deposited in digesters of 3L capacity together with the additives yogurt, chicha de jora, molasses, ashes and eggshells. Water was added until reaching 8-15% of total solids and aerobiosis was maintained for 7 days and anaerobiosis for 60 days. The retention time was 60 days for the production of Biol by anaerobic digestion of four mixtures of animal manure and stubble. As results, higher values were obtained in the yield and NPK, as well as the lower values in the EC, total and fecal coliforms and *E. coli* corresponded to the Biol T3 (manure from fattening birds) and T2 (guinea pig manure). Bioles T3 and T2 presented agronomic effectiveness, increasing the number of leaves, plant height and weight of roots of radish, reaching the highest increases with T3. The bioassays allowed to demonstrate the obtaining of Biol with required chemical and microbiological characteristics and agronomic effectiveness.

Keywords: liquid fertilizer, biol, animal manures, agronomic effectiveness.

INTRODUCCIÓN

La actividad pecuaria es muy importante porque satisface las necesidades proteicas de la población; sin embargo, genera como residuos grandes volúmenes de estiércol (Carhuancho, 2012). Estos residuos presentan alto contenido de nutrientes y material orgánico, por lo cual tienen alta demanda como abono para la agricultura; no obstante, contaminan el suelo por su contenido de sales, el aire por las emisiones de amoníaco y las aguas subterráneas por la lixiviación de nitratos, además de olores desagradables y la proliferación de microorganismos patógenos y vectores (Salazar, Amusquivar, Llave y Rivasplata, 2012).

Los residuos pecuarios pueden ser tratados mediante tecnologías como el compostaje, lagunas de oxidación y biodigestores anaerobios. La digestión, fermentación anaerobia o metanogénesis en digestores es el proceso mediante el cual los microorganismos descomponen la materia orgánica en ausencia de oxígeno, con la ventaja que los residuos son transformados en biogás, cuyo principal componente es el metano, se reduce el volumen de desperdicios y el efluente llamado Biol puede ser utilizado como fertilizante (Benavides y Plasencia, 2012). En la metanogénesis la materia orgánica produce gases que representan el 50 - 10 % del total. El resto de la materia se conserva en forma de lodo con alto contenido de nitrógeno y fósforo, por lo que puede ser utilizado para incrementar el desarrollo y rendimiento de los cultivos agrícolas (Chiriboga, 2010).

Los bioabonos como el Biol mejoran la calidad física del suelo, porque incrementan su permeabilidad, aireación, capacidad de retención de agua y disminuyen la compactación de arcillas (Chiriboga, 2010). Asimismo, mejoran las propiedades químicas del suelo al evitar que se pierda el nitrógeno liberado y favorecer la movilización de nutrientes como fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre, S (Esprella y Lira, 2012); sin embargo, en la actualidad no existe una fórmula

estandarizada para preparar este abono orgánico. Solo se conocen los principios básicos y una tecnología que los propios agricultores deben desarrollar utilizando una variedad de alternativas y manejo de los recursos naturales existentes en su medio.

Los resultados de la presente investigación permitirán validar la tecnología de producción del Biol, mejorando las condiciones sanitarias y generando energía renovable. Se podría estandarizar una metodología para la obtención del abono líquido Biol, con la perspectiva que los productores puedan adoptarla y practicarla, generando mano de obra y recursos económicos, además de evitar la contaminación del ambiente.

Problema

¿Cuáles son las características físicas, químicas, microbiológicas y efectividad agronómica del abono líquido Biol obtenido por digestión anaerobia de estiércol de aves de engorde, *Cavia porcellus* “cuy”, *Sus scrofa domesticus* “porcino” y *Bos taurus* “vacuno” con rastrojo?

Hipótesis

El abono líquido Biol obtenido por digestión anaerobia de estiércol de animales con rastrojo tiene una conductividad eléctrica menor de 5 dSm^{-1} , una concentración de NPK superior al inicial, menos de 1,8 NMP/100mL de coliformes totales y fecales y presenta efectividad agronómica en el cultivo de rabanito.

Objetivo general

Determinar las características físicas, químicas, microbiológicas y efectividad agronómica del abono líquido Biol obtenido por digestión anaerobia de estiércoles de aves de engorde, cuy, porcino y vacuno con rastrojo.

Objetivos específicos

- Identificar las características físicas, químicas, microbiológicas y toxicidad de los estiércoles de aves de engorde, cuy, porcino y vacuno y rastrojo.
- Formular cuatro mezclas de estiércol de animales con rastrojo en una relación de carbono: nitrógeno de 25 a 26.
- Establecer el tiempo de retención para la producción de abono líquido Biol por digestión anaerobia de cuatro mezclas de estiércoles de animales y rastrojo.
- Comparar el rendimiento y las características físicas, químicas, microbiológicas y toxicidad de los cuatro Bioles obtenidos.
- Comparar la efectividad agronómica de dos Bioles en el cultivo de *Raphanus sativus* L. "rabanito".

CAPÍTULO I

ANÁLISIS DEL OBJETO DE ESTUDIO

1.1 Ubicación

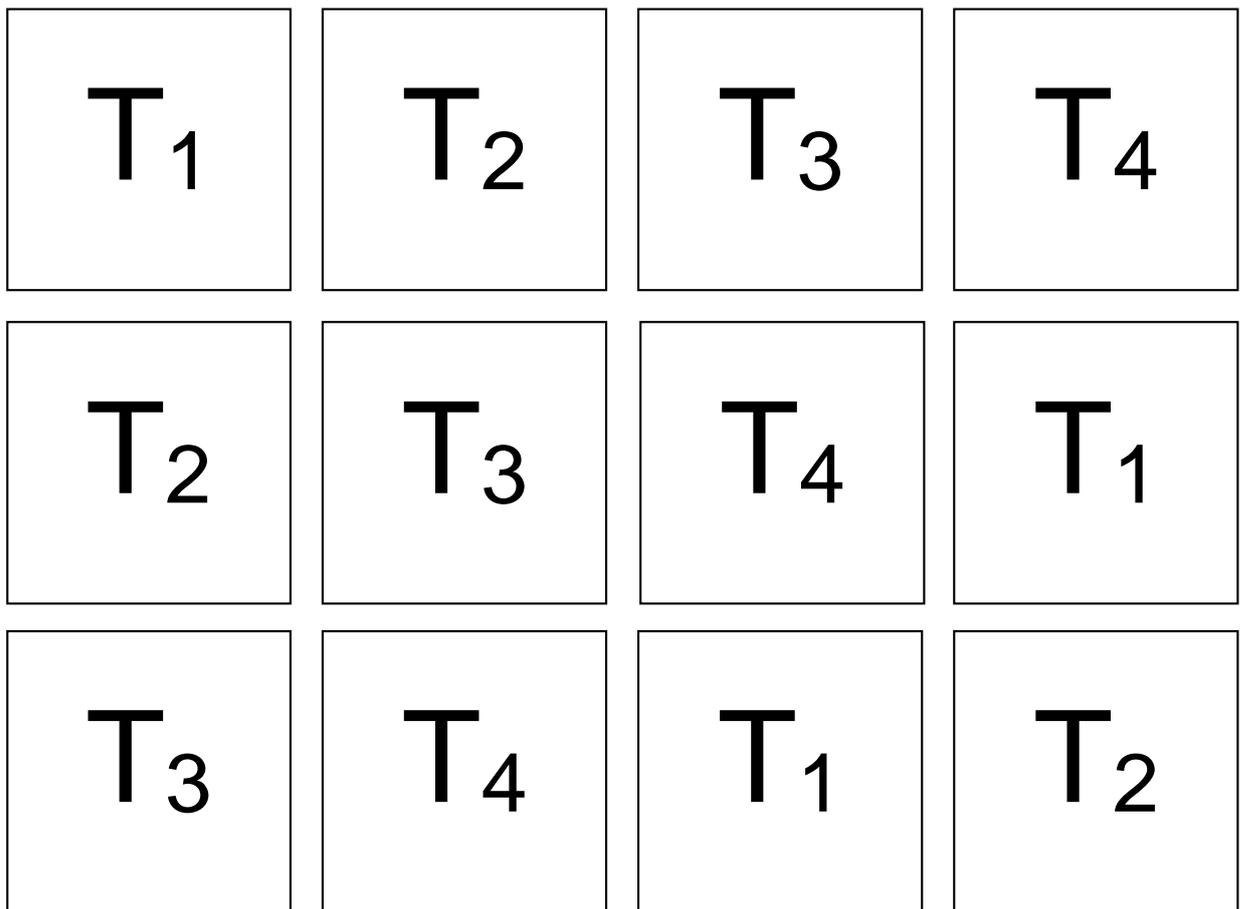
El rastrojo y los estiércoles de vacuno, porcino, cuy y aves o pollos de engorde, se colectaron en el establo lechero y módulos de crianza de las especies mencionadas, respectivamente, de la Facultad de Ingeniería Zootecnia en la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque. La efectividad agronómica del Biol obtenido se realizó en el fundo “El Ciénago” de la Facultad de Ingeniería Zootecnia de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque (Figura 1). El fundo tiene 10 ha, a 61 msnm y está ubicado en las coordenadas 619244.18 m E 9257550.70 m S. La temperatura media normal es 22°C, con un máximo de 35°C en verano y un mínimo de 10,5°C en invierno (Municipalidad Provincial de Lambayeque, 2015).

1.2 Tipo de estudio y diseño de contrastación de hipótesis

La investigación se ejecutó en dos fases. En la primera fase con una investigación descriptiva y un diseño no experimental transeccional (Hernández, Fernández y Baptista, 2014) se formularon cuatro mezclas de estiércol con rastrojo en una relación de carbono: nitrógeno (C: N) de 25 a 26. En la segunda fase con una investigación explicativa y un diseño completamente aleatorio (DCA) se realizaron dos ensayos. En el primero con cuatro tratamientos se obtuvo Biol por digestión anaerobia de cuatro mezclas de estiércoles con rastrojos (Figura 2). En el segundo ensayo, se determinó la efectividad agronómica de dos Bioles seleccionados y un testigo en el cultivo de rabanito (Figura 3). En cada tratamiento se realizaron cuatro repeticiones, totalizando doce unidades experimentales.



Figura 1. Vista satelital del fundo El Ciénago en Lambayeque (<https://www.google.com/maps/@-6.7160626,-79.921575,595m/data=!3m1!1e3>).



T₁: Estiércol de vacuno

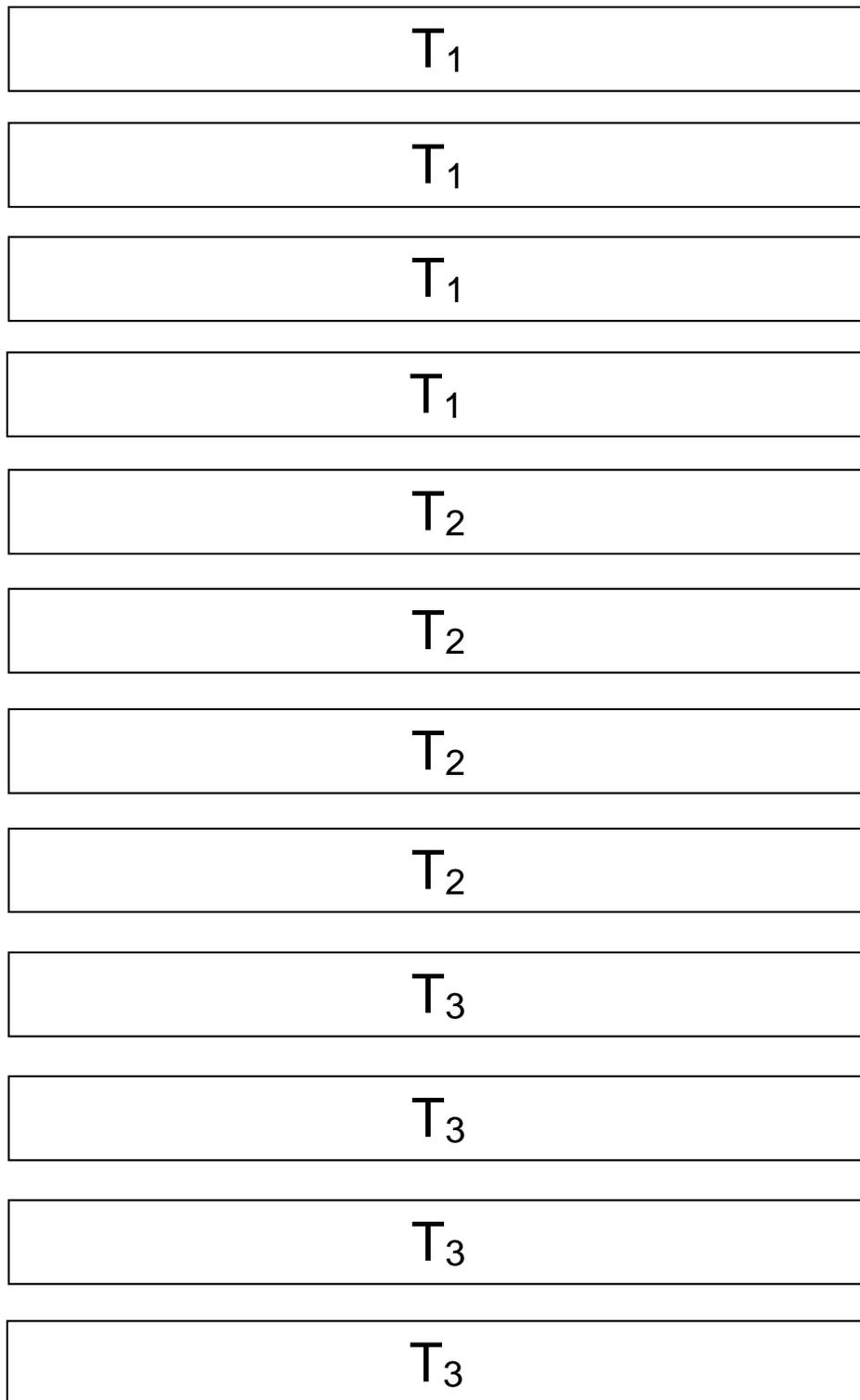
T₂: Estiércol de cuy

T₃: Estiércol de aves de engorde

T₄: Estiércol de porcino

Figura 2. Diseño experimental completamente aleatorio para la obtención de Biol por digestión anaerobia de cuatro mezclas de estiércoles con rastrojos.

Fuente: Elaboración propia



T_1 : Testigo

T_2, T_3 : Bioles seleccionados

Figura 3. Diseño experimental para la determinación de la efectividad agronómica de dos Bioles seleccionados y un testigo absoluto.

Fuente: Elaboración propia

1.3 Población y muestra

La población y muestra estuvo constituida por 12 unidades experimentales correspondientes a cuatro mezclas de estiércoles de animales con rastrojo en digestores anaerobios.

1.4 Variables

a. Variables de la fase descriptiva

Características físicas, químicas, microbiológicas y toxicidad de los estiércoles de animales y rastrojo.

b. Variables de la fase explicativa

Variables independientes: Estiércoles de animales con rastrojo

Variables dependientes: Características físicas, químicas, microbiológicas y toxicidad de los Bioles

1.5 Material biológico

Estiércoles de animales, rastrojo, melaza, yogurt, chicha de jora, ceniza vegetal, cáscaras de huevos y semillas de *Raphanus sativus* L. “rabanito”

1.6 Determinación de las características físicas, químicas, microbiológicas y toxicidad de los estiércoles de animales y rastrojo

El análisis físico-químico de los estiércoles y rastrojo se realizó en el laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Ingeniería Zootecnia. Se determinaron los contenidos de humedad, ceniza, materia orgánica, carbono, nitrógeno, sólidos totales y relación C: N. La humedad (%) se determinó por el método gravimétrico de la estufa (Oyuela, 2010) y ceniza (%) por el método de incineración (Reupo, 2009). El contenido de materia orgánica se calculó con la resta de los porcentajes de materia seca y ceniza (Reupo, 2009) y el valor resultante se dividió entre 1,8 para obtener el porcentaje de carbono (Arrieché y Pacheco, 2000).

El nitrógeno (%) se determinó por el método de Kjeldahl (Cajo y Nizama, 2008) y después se calculó la relación C: N, dividiendo los porcentajes de carbono y nitrógeno (Benavides y Plasencia, 2012). A su vez, el porcentaje de sólidos totales se determinó por el método gravimétrico (Barreto y Córdova, 2012).

El análisis microbiológico se realizó en el laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ciencias Biológicas. La determinación de bacterias coliformes totales, fecales y *E. coli* mediante la técnica de diluciones en tubo múltiple - Número Más Probable, NMP (Camacho et al., 2009), la determinación de bacterias anaerobias mesófilas por el método de recuento en tubo por siembra en masa (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1998) y la detección de *Salmonella* spp. (García, Soriano, Benítez & Catalá, 2011) según método horizontal ISO 6579:2002 (Anexos 1, 2)

La toxicidad de los estiércoles se investigó por triplicado en submuestras de 10 g. Se utilizaron semillas de rabanito a las que previamente se les determinó el porcentaje de germinación. En cuatro placas de Petri, con papel de filtro esterilizado y humedecido con agua destilada esterilizada, se depositaron 25 semillas por placa, se taparon y mantuvieron a temperatura ambiente (28°C) humedeciéndolas interdiariamente, hasta obtener el máximo de germinación (Contreras, 2017).

A las 120 horas se contaron las semillas germinadas y se midió la longitud de las radículas emergidas. El porcentaje de germinación relativo (PGR), crecimiento relativo de radícula (CRR) e índice de germinación (IG) fueron calculados según las fórmulas (Purisaca y Quevedo, 2015) siguientes:

$$PGR = \frac{\text{Número de semillas germinadas en el tratamiento}}{\text{Número de semillas germinadas en el testigo}} \times 100$$

$$CRR = \frac{\text{Longitud promedio de radículas en el tratamiento}}{\text{Longitud promedio de radículas en el testigo}} \times 100$$

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

La fitotoxicidad se determinó con el criterio de interpretación mencionado por Rodríguez (2012) según el cual: $IG > 80\%$ indica que no hay sustancias fitotóxicas o están en muy baja concentración, $80\% > IG > 50\%$ se interpreta como presencia moderada de estas sustancias y un $IG < 50\%$ indica una fuerte presencia de sustancias fitotóxicas, criterios correspondiente a niveles de fitotoxicidad bajo, moderado y severo, respectivamente (Purisaca y Quevedo, 2015).

1.7 Formulación de cuatro mezclas de estiércol de animales con rastrojo

Las mezclas del estiércol con rastrojo se formularon con una proporción C: N de 25 a 26 (Madigan, Martinko y Parker, 2004), según la capacidad de los biodigestores de 3 L (Anexo 3). Una vez obtenidos las cantidades de los sustratos orgánicos y aditivos, se calculó el volumen de agua requerido para alcanzar 8-10% de sólidos totales finales (Anexo 4), realizando un experimento piloto para biodigestores de 1,5 L de capacidad correspondientes al 50% de la capacidad de los biodigestores experimentales de 3 L (Benavides y Plasencia, 2012). Para el ensayo, los sustratos se pesaron y se les adicionaron 400 mL de agua de caño colectada 24 horas antes. Inmediatamente después se determinaron los sólidos totales iniciales de las cuatro mezclas de sustratos orgánicos, utilizando el método gravimétrico (Oyuela, 2010), para lo cual, se obtuvieron muestras de 25 mL de cada mezcla, en recipientes de vidrio, vacíos y secos, de peso conocido. Se determinó el peso húmedo (P_A) y las muestras se llevaron a horno a 90 °C por 24 horas. La fase líquida se evaporó y la fase sólida fue pesada (peso seco, P_B). Los sólidos totales iniciales se determinaron con la siguiente formula:

$$\%ST = \frac{P_B}{P_A} \times 100$$

Después de haber obtenido los valores de sólidos totales iniciales en la mezcla de sustratos con 400 mL de agua, se determinó el volumen de agua adicional requerido para alcanzar teóricamente 8% de sólidos totales finales, mediante la fórmula (Paredes, 2009):

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

Dónde:

C_1 = Concentración inicial (sólidos totales iniciales)

V_1 = Volumen inicial (Peso de sustratos orgánicos + 400mL de agua)

C_2 = Concentración final (8%)

V_2 = Volumen final (Volumen inicial + Volumen de agua adicional)

Una vez calculado el volumen adicional de agua, se agregó en los biodigestores de 1,5 L. El contenido se homogenizó para tomar una muestra, se determinaron los sólidos totales finales alcanzados, siguiendo el método explicado anteriormente y se comprobó que los valores obtenidos se encontraban en el rango de 8-10% de sólidos totales, óptimos para una buena fermentación. Con el volumen del agua adicional obtenido en el experimento piloto se calculó el agua requerida para los biodigestores de 3 L, multiplicando los valores por 2 (3L/1,5L) para retornar a la proporción del 100%.

1.8 Producción de abono líquido Biol por digestión anaerobia de estiércoles de animales con rastros

a. Acondicionamiento de los biodigestores

La digestión anaerobia de las mezclas se realizó en doce digestores, durante 60 días. Los digestores a escala de laboratorio (Figura 4) estuvieron constituidos por envases de teraftalato de polietileno (PET) de 3,0 L de capacidad, pintados de color negro, acondicionados según Marichal (2010) y modificados según Tay (2017).



Figura 4. Digestores de teraftalato de polietileno para la digestión anaerobia.

Fuente: Registro fotográfico propio

Para el armado de los dispositivos anexos a los digestores, en uno de los extremos de doce tubos de cobre de 8 cm de largo y 0,6 cm de diámetro se depositó silicona para vidrio y se insertó una manguera de policloruro de vinilo (PVC) de 0,6 cm de diámetro y 15 cm de longitud. Después del secado, este dispositivo se insertó a presión en el orificio central de las tapas de polipropileno (PP) y para evitar la pérdida de gas se aplicó silicona alrededor del borde del tubo, tanto en el exterior, como en el interior. De esta manera, quedaron listos los dispositivos para la salida y medición de la presión del biogás producido.

Para la fermentación o digestión anaerobia, en cada digestor se depositó la mezcla de estiércol con rastrojo. Los digestores se taparon herméticamente, colocando cinta teflón alrededor de la abertura y sobre ella el dispositivo para la salida y medición de la presión del biogás. Para evitar la fuga del biogás la manguera de PVC se dobló sobre sí misma dos veces y se aseguró con un pabilo alrededor, de tal manera que la abertura quede hacia arriba para facilitar la medición correspondiente.

b. Preparación de la carga inicial y digestión aerobia

Los estiércoles y el rastrojo fueron picados (Figura 5) y pesados según los cálculos realizados para cada mezcla. Asimismo, se midieron o se pesaron los aditivos yogurt (7,2%), chicha de jora (7,2%), melaza (7,2%), cenizas (2,0%) y cáscaras de huevo (0,4%), que en conjunto constituyeron 720 g para cada unidad experimental o biodigestor de 3 L de capacidad (Benavides y Plasencia, 2012). Los estiércoles, rastrojo y aditivos se depositaron en su respectivo biodigestor y se agregó un determinado volumen de agua, hasta saturar la mezcla y formar una masa semisólida (Figura 6). El contenido de cada biodigestor se homogenizó durante 15 minutos y se tapó con tocuyo para evitar la entrada de insectos, permitiendo solo el ingreso del aire para la digestión aerobia durante 7 días.



Figura 5. Picado del rastrojo para la preparación de la carga inicial de las muestras.

Fuente: Registro fotográfico propio



Figura 6. Mezcla del estiércol de *Cavia porcellus* L. “cuy” con rastrojo.

Fuente: Registro fotográfico propio

c. Digestión anaerobia y obtención del Biol

Una vez terminada la digestión aerobia, se completó el volumen de agua requerida para alcanzar 8-10% de sólidos totales y los biodigestores fueron tapados herméticamente y conectados con su sistema de burbujeo, a temperatura ambiente, durante su tiempo de retención correspondiente.

Al inicio (0 días) y después de 30, 45 y 60 días de digestión anaerobia se tomó una muestra del sobrenadante o líquido marrón-verdoso oscuro que fue filtrado a través de un tocujo goteando hacia un balde (Figura 7) y removiendo con un palillo limpio, para acelerar el goteo. Después, se tomó una muestra representativa de cada filtrado o Biol y se colectó en frascos de vidrio esterilizados, tapados herméticamente para realizar el análisis físico, químico, microbiológico y determinar la toxicidad. Con los resultados se seleccionó el tiempo de retención adecuado para cada tratamiento.

d. Análisis físico-químico, microbiológico y toxicidad del abono líquido

Las muestras de Biol se depositaron en frascos de vidrio debidamente identificados y se enviaron al Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, donde se determinó el pH, conductividad eléctrica (CE: dS/m), sólidos totales (gL^{-1}), materia orgánica en solución (gL^{-1}), nitrógeno total (mgL^{-1}), fósforo total (mgL^{-1}), potasio total (mgL^{-1}), calcio (mgL^{-1}) y magnesio (mgL^{-1}). Los métodos utilizados fueron: Kjeldalh modificado, para determinación de nitrógeno, digestión húmeda con H_2SO_4 y H_2O determinado por absorción atómica y espectrofotometría, para el potasio y fósforo, respectivamente. En el laboratorio de Microbiología se determinaron las bacterias coliformes totales, fecales (Figuras 8, 9) y *E. coli* por la técnica de Número Más Probable, NMP; bacterias anaerobias mesófilas por el método de recuento en tubo por siembra en masa y detección de *Salmonella* spp. según ISO 6579:2002.



Figura 7. Filtrado del sobrenadante obtenido en la digestión anaerobia.

Fuente: Registro fotográfico propio



Figura 8. Caldo lauril sulfato de sodio para la determinación de coliformes totales.

Fuente: Registro fotográfico propio

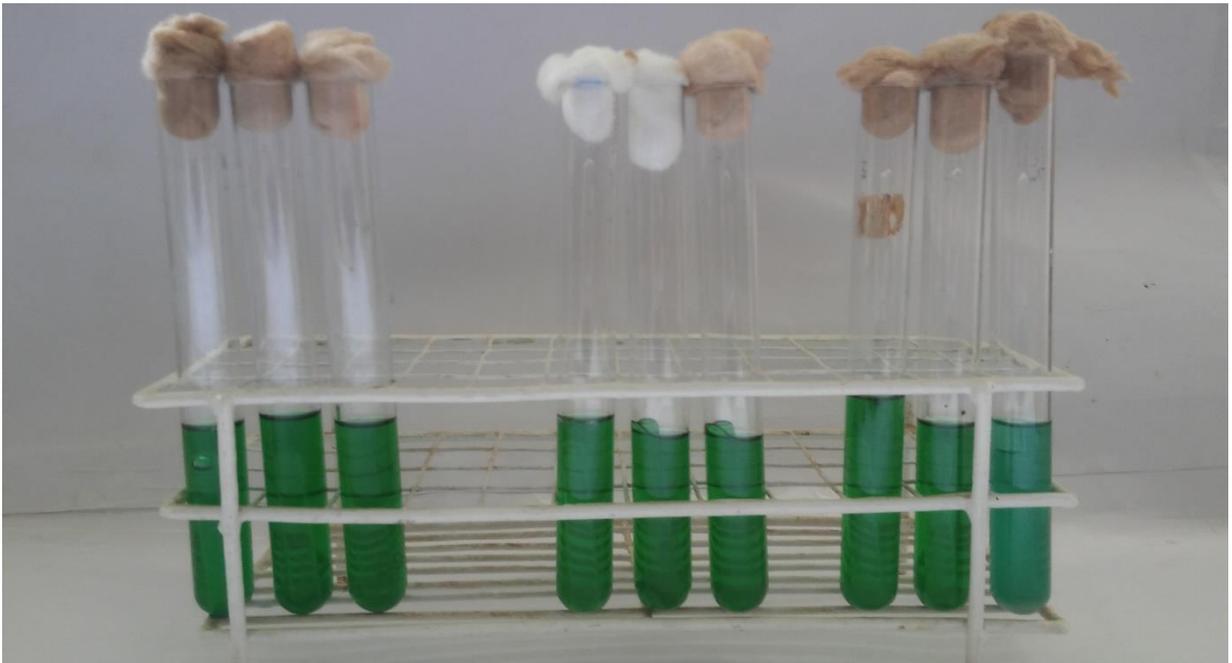


Figura 9. Caldo lactosa verde brillante para determinación de coliformes fecales.

Fuente: Registro fotográfico propio

Para el ensayo de toxicidad, en cuatro placas de Petri se acondicionaron círculos de papel filtro embebido con 10 mL del filtrado o Biol (Figura 10) y con una pinza se depositaron 25 semillas de rabanito en cada placa. Las placas se cubrieron con papel bond durante 120 horas, a 28°C y después de 48 horas, se vertieron 3mL adicionales Biol, para mantener la humedad requerida. A las 120 horas se contaron las semillas germinadas (Figura 11), se midió la longitud de las radículas emergidas (Figura 12) y se determinaron el porcentaje de germinación relativo (PGR), crecimiento relativo de radícula (CRR) e índice de germinación (IG) y toxicidad (Rodríguez, 2012; Purisaca y Quevedo, 2015)

e. Efectividad agronómica del Biol

La efectividad agronómica se determinó en un experimento bajo un diseño completamente aleatorio (DCA), con tres tratamientos, correspondientes a T₁: Testigo y T₂ y T₃: Bioles seleccionados. A cada tratamiento le correspondieron cuatro surcos o repeticiones, con un total de 12 surcos o unidades experimentales. Se utilizaron semillas certificadas de rabanito variedad Crimson Giant, "Hortus", que previo a su comercialización son tratadas con el fungicida Homai para evitar el ataque de hongos causantes de la chupadera fungosa.

El cultivo de rabanito fue instalado en el fundo El Ciénago, en tres parcelas experimentales de 1,8 x 1,2 m, cada una con cuatro surcos (Figura 13) de 1,8 m y 23 golpes, con un distanciamiento de 0,30 m entre ellos y 0,072 m entre golpes. Para la siembra, se depositaron dos semillas de rabanito por golpe (Figura 14), a una profundidad de 3 cm, realizándose el riego según el requerimiento del cultivo. A la emergencia, 4 días después de la siembra (Figura 15), se aplicó el Biol en los tratamientos T₂ y T₃. En el testigo (T₁) se aplicó agua (Benavides y Plasencia, 2012).



Figura 10. Prueba de germinación de semillas de *Raphanus sativus* L.

Fuente: Registro fotográfico propio



Figura 11. Semillas germinadas de *Raphanus sativus* L. germinadas.

Fuente: Registro fotográfico propio

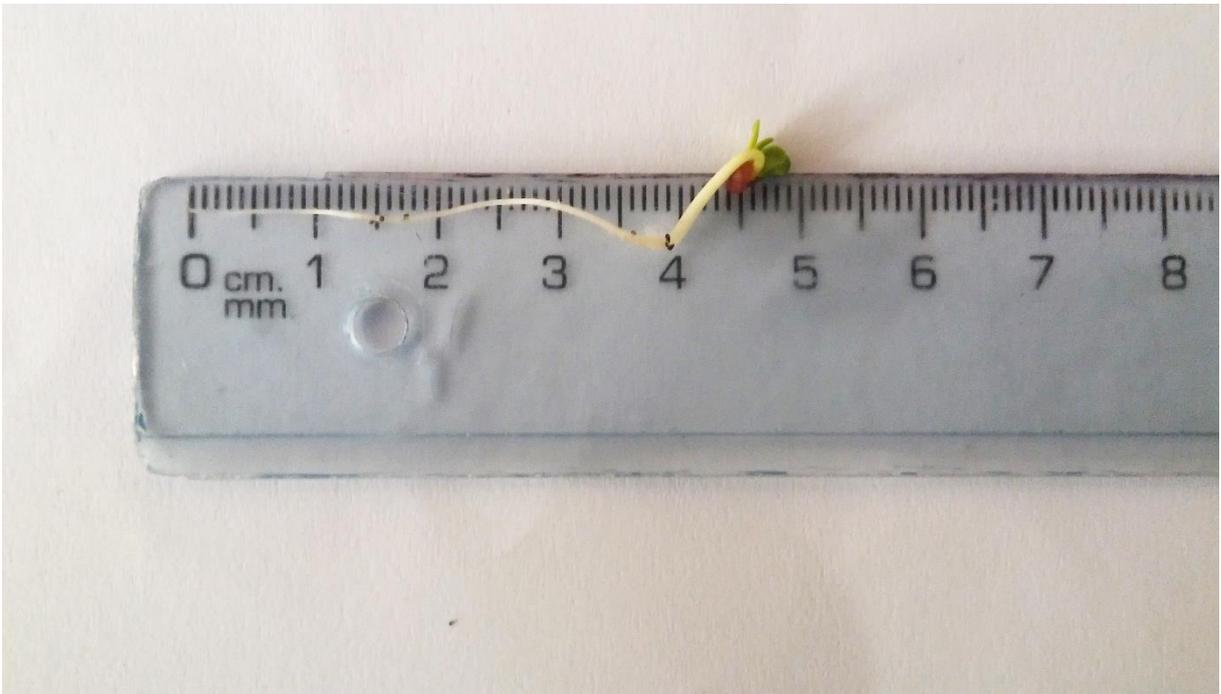


Figura 12. Medición de la radícula de semilla germinada de *Raphanus sativus* L.

Fuente: Registro fotográfico propio



Figura 13. Parcelas experimentales para el cultivo de *Raphanus sativus* L. en el fundo

El Ciénago, Lambayeque.

Fuente: Registro fotográfico propio



Figura 14. Siembra de semillas de *Raphanus sativus* L. "rabanito" por la técnica de golpe.

Fuente: Registro fotográfico propio



Figura 15. Plántulas de *Raphanus sativus* L. "rabanito" emergidas después de 4 días de siembra.

Fuente: Registro fotográfico propio

Los tratamientos se aplicaron por aspersion vía foliar, con un pulverizador manual (Figura 16), en la dosis 30% equivalente a 130-150 L de Biol/400L de agua por hectárea (Benavides y Plasencia, 2012). Se realizaron cuatro aplicaciones más cada semana después de la primera aplicación, con un total de cinco aplicaciones. La cosecha se realizó a los 35 días después de la siembra (Figura 17), para lo cual se extrajeron cuidadosamente las plantas incluyendo la parte aérea y raíces. Se descartaron los cuatro golpes ubicados en los bordes, se seleccionaron aleatoriamente diez golpes intercalados por surco, totalizando 40 golpes por tratamiento y se determinó el número de hojas, la altura de las plantas cosechadas y el peso fresco de las raíces (Figuras 18, 19).

1.9 Análisis estadístico de los datos

Los datos obtenidos fueron ordenados en tablas y figuras. Se realizó el análisis de varianza de los valores del NPK, del número de hojas, altura de plantas y peso fresco de raíces y la superioridad entre los tratamientos, se determinó mediante la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, con un nivel de significancia de 0,05 (Hernández et al., 2014). Se utilizaron los programas Microsoft Office Word y Excel versión 2013.



Figura 16. Aplicación del Biol por aspersion foliar en *Raphanus sativus* L.

Fuente: Registro fotográfico propio



Figura 17. Extracción de las plantas de *Raphanus sativus* L. “rabanito” en fundo El Ciénago.

Fuente: Registro fotográfico propio



Figura 18. Medición de la altura de las plantas de *Raphanus sativus* L. "rabanito".

Fuente: Registro fotográfico propio

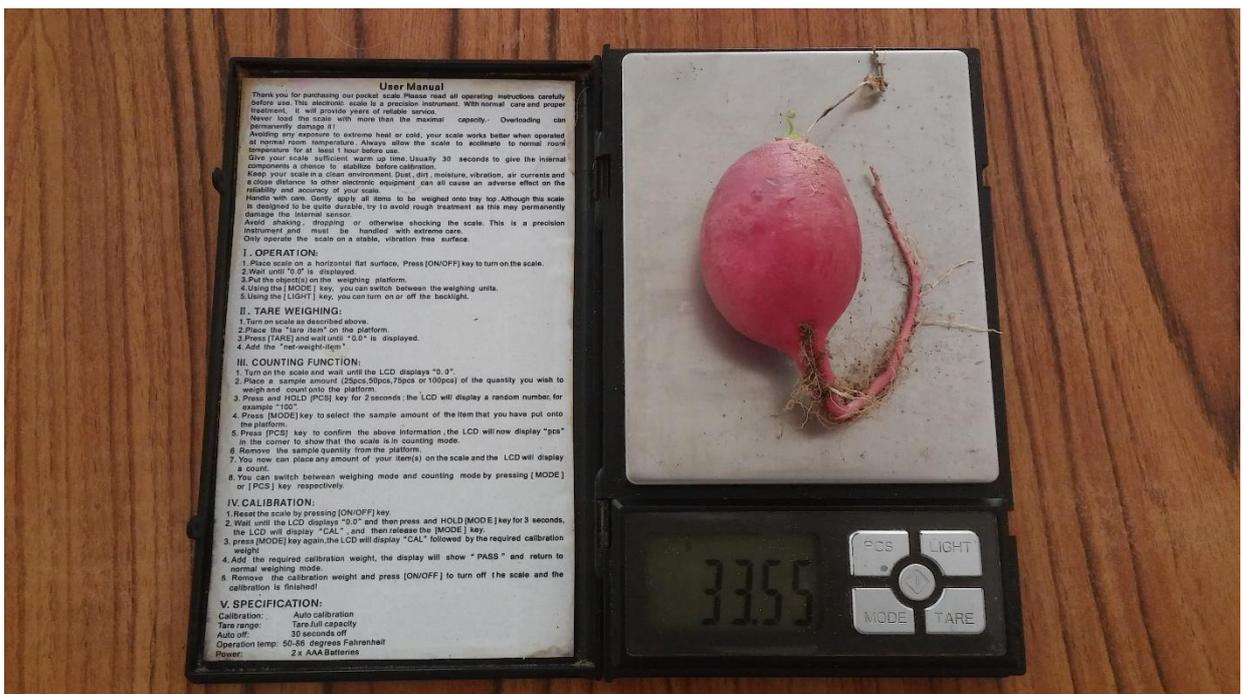


Figura 19. Pesado de las raíces de *Raphanus sativus* L. "rabanito".

Fuente: Registro fotográfico propio

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

En las instalaciones de una quinta lechera se investigaron cuatro tipos de bioabonos para la fertilización de *Lolium perenne* “raigrás”. Se obtuvieron compost, bokashi, té de estiércol y Biol. El Biol se preparó con estiércol fresco bovino mezclado con alfalfa picada y agua. Después de 90 días en anaerobiosis el fermentado se filtró y se obtuvo el Biol que presentó microorganismos aerobios mesófilos totales (34000 UFC g⁻¹) y hongos (5,333 UFC g⁻¹). El pH fue de 6,57; 61,66% de materia orgánica; 2,06 % de nitrógeno; 0,29 % de fósforo; 1,61 % de potasio y una relación C:N= 17,36. El Biol en una mezcla de 0,5 L por cada 7 L de agua se aplicó en aspersiones foliares cada 15 días al pasto cultivado, observándose incremento en la altura, número de tallos por planta, número de hojas por planta y la producción de forraje verde (5 t/ha/corte) en comparación con el testigo (3,7 t/ha/corte). El índice de beneficio/corte fue de 1,16 dólares demostrándose la rentabilidad de la producción de Biol (Vásquez, 2008).

En la producción de biogás y bioabonos, mediante un proceso de digestión anaerobia se investigaron cuatro sustratos orgánicos: S1 = Estiércol de porcino, S2 = Estiércol de bovino, S3 = Residuos de cocina y S4 = Mezcla de sustratos, a tres dosis: Baja = 20kg, (d1), Media = 25kg, (d2) y Alta = 30kg, (d3), empleando un diseño completamente al azar con arreglo factorial 4x3. En los biodigestores de 80L/40 días, con estiércol de porcino se obtuvo la mayor cantidad de biogás (4,47 L), con residuos de cocina la mayor cantidad de Biosol (15,71 kg) y con estiércol de bovino la mayor

cantidad de Biol (40,50 L). Con excretas de porcino se obtuvo bioabono rico en fósforo (150ppm) y con excretas de bovino se obtuvo un bioabono rico en potasio (42,19 mol kg⁻¹). Se concluyó que para la producción de biogás el sustrato con el mayor beneficio/costo fue estiércol de porcino: 2,44; para Biosol fue residuos de cocina con 12,63 y para Biol fue el estiércol bovino: 23,75 (Viracucha y Suquilanda, 2008).

El estiércol de vaca junto a los residuos de frutas fue investigado para la producción de biogás y Biol fertilizante mediante digestión anaerobia en el rango mesofílico. En reactores discontinuos la mezcla óptima fue 1:1. En reactores semicontinuos en laboratorio, la mezcla 4:1, con una carga orgánica de 5 kg DQO/ m³ día generó la máxima producción específica de biogás por kilogramo de DQO removido con un valor de 0,19 m³ biogás/kg DQO removido. En el proceso semi-industrial con 1 tonelada/día de residuos de fruta, se obtuvieron 24 m³ de biogás/día y 3145 kg de Biol/día. La inversión llegó al punto de equilibrio después de 3,3 años, con un índice de ganancias de 6,7 años y un costo de 0,29 dólares por kg de Biol, demostrándose la rentabilidad de la planta de producción de biogás y Biol a partir de residuos de fruta (Chiriboga, 2010).

Los residuos ganaderos constituyen sustratos que pueden ser aprovechados para la producción de Biol. Estiércoles de cuy, gallinaza y bovino se colectaron, se mezclaron (3,25 kg) independientemente con 2 L de agua, sulfato de magnesio, miel de caña, leche y alfalfa picada y se depositaron en bidones de 5 L herméticamente cerrados durante 60 días. El pH disminuyó de 8,35 a 6,16 con el estiércol de vacuno; 8,93 a 6,12 con el de cuy y 8,8 a 6,15 con la gallinaza. La conductividad disminuyó de 33,3 a 32,8 u S/cm en gallinaza y aumentó de 13,37 a 16,84 u S/cm en vacuno y 23 a 36,4 u S/cm en cuy. El Biol obtenido se diluyó a 5, 15 y 30% y se aplicó cada 4 días desde la siembra de rabanito. El rendimiento se incrementó siendo superior con el Biol

5% de cuy, seguido Biol 30% vacuno y gallinaza y Biol 15% vacuno y gallinaza (Cordero, 2010).

Para la producción de biogás y Biol, se investigaron excretas de vacuno y torta de *Jatropha curcas* L “piñón blanco”, un subproducto del proceso de extracción del aceite. Se construyeron siete biodigestores modelo chino, seis con sistema de cultivo discontinuo y uno continuo. Cuatro tratamientos consistieron de una mezcla de estiércol y torta más agua y dos tratamientos de torta más agua, siendo evaluados durante 70 días. El modelo continuo se inició con estiércol de ganado, se alimentó por 1 mes con 2L de una dilución de 30% de estiércol y 70% de agua y posteriormente con una dilución de torta con agua (30:70) cada 2 a 3 días. En los biodigestores con estiércol se obtuvieron 12L de biogás durante 60 días; sin embargo, con torta no se evidenció la producción. El contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en el Biol de torta de *J. curcas* fue mayor que el de estiércol de ganado; no obstante presentó un alto contenido de coliformes totales y mal olor, por lo que se concluyó que la torta de *J. curcas* no tiene potencial para la producción de biogás y Biol (Oyuela, 2010).

En una investigación, se diseñó, construyó, y evaluó el funcionamiento de un biodigestor familiar de 2 m³, tipo manga de polietileno, utilizando adobe en las paredes de la zanja, acolchonado por una manta de sacos y revestido por un cobertor negro, para mantener en promedio 20-30°C. El biodigestor se alimentó con 14 L de estiércol fresco de ganado bovino y 42 L de agua y el biogás se cuantificó a través del método indirecto del gasómetro de campana flotante. El tiempo de retención inicial fue de 30 días, produciéndose posteriormente biogás, con un promedio de 400 L día⁻¹ y 40 L día⁻¹ de Biol. Se demostró que el estiércol de oveja constituye una materia prima para la producción de combustible y fertilizante (Salazar et al., 2012).

El aprovechamiento del estiércol de gallina para la elaboración de Biol se investigó en digestores con sistema discontinuo, como una propuesta al manejo de los residuos avícolas. La gallinaza proveniente de dos tipos de crianza: en piso y jaula y la mezcla de ambos junto a la chala de *Zea mays* L. “maíz” se diluyeron con agua 1:4 y se fermentaron en los digestores durante 90 días. En los primeros 15 días el pH de 6,5 – 7,2 disminuyó a 5,2 - 5,4. Los coliformes totales y fecales disminuyeron de 10^6 NMPg⁻¹ a <menos de 3 en todos los Bioles. El Biol de gallinaza en piso presentó mayor concentración de macro y micro nutrientes, con un pH de 5,08; CE de 20,6 d Sm⁻¹; 1813 mgL⁻¹ N; 164,76 mgL⁻¹ P y 2500 mgL⁻¹ K. El análisis de germinación de semillas de maíz no demostró toxicidad con diluciones 0,1/100 y 1/100, concluyéndose que el Biol obtenido tiene valor agronómico demostrado (Carhuancho, 2012).

Los biodigestores constituyen tecnologías apropiadas para dar utilidad a los residuos orgánicos. Se investigó la producción de Biol, con un promedio de 5,3 kg de estiércol por día y por animal, contándose con 20 animales, suficiente para el abastecimiento de un digestor, con un sistema de alimentación discontinua, constituido por seis tambores interconectados y 600 L de capacidad. Los sustratos estiércol fresco, rastrojos de leguminosas (N), plátano (K), pescado (P), melaza, leche y ceniza se mezclaron con agua en una relación insumos líquidos y sólidos de 3:1. A partir del día 20, el sistema generó biogás progresivamente hasta por 20 días, con un promedio de 20 L por Kg de estiércol por día. El Biol producido presentó (gkg⁻¹): N (2,7), NH₄ (1,3), P (0,5), K (2,6) y Ca (1,1) y después de 39 días de aplicado (30 y 40%) en maíz incrementó la altura, diámetro de tallo y ancho de hoja, demostrándose su efectividad como fertilizante (Esprella y Lira, 2012).

El lixiviado procedente del compostaje de materia orgánica de residuos de mercados se utilizó en la elaboración de dos tipos de biol. En un tanque de 200 L se depositó el lixiviado. Para el Biol 1 se agregaron estiércol de *Equus ferus caballus* “caballo”, pollo, alfalfa y melaza. Para el Biol 2 se agregaron estiércol fresco de vacuno, leche, ceniza y melaza. Todos los ingredientes se mezclaron y se taparon durante 2 y 3 meses, respectivamente. Con la aplicación del Biol 2 en pasto “raigrás” cultivado se alcanzaron 27 tha^{-1} , en comparación con 21 tha^{-1} del Biol 1, demostrándose la efectividad del lixiviado para la elaboración del Biol (Montesinos, 2013).

El estiércol de ovino se utilizó en la obtención de dos abonos líquidos con el objetivo de evaluar la calidad de los Bioles. Los tratamientos fueron dos: Digestión anaerobia (T₁ Biol I-G) y Fermentación homoláctica (T₂ Biol II-G). Los digestores con un volumen útil (80%) de 30,3 L se cargaron con una mezcla de 4,5 kg de estiércol de ovino; 4,5 L de purín de cerdo y agua destilada hasta enrasar el volumen con 8% de sólidos totales. Después de 120 días Biol II-G presentó un pH de 3,5 y Biol I-G un rango de 6,8 – 7,8. Los nutrientes se incrementaron, los coliformes totales y fecales disminuyeron y no se encontró *Salmonella* spp. En el ensayo de fitotoxicidad 100 y 10% de los Bioles inhibieron la germinación de las semillas de lechuga y limitaron el crecimiento de las radículas. Por el contrario, dosis de 1; 0,1 y 0,01% del Biol I-G y 0,1 y 0,01% del Biol II-G alcanzaron valores del índice de germinación mayor de 80%. Se demostró la obtención de Bioles con la calidad requerida a partir del estiércol de ovino (Medina, Quipuzco y Juscamaita, 2015).

2.2 Base teórica

La Declaración de Río sobre El Medio Ambiente y el Desarrollo (1992) define el Desarrollo Sostenible como satisfacer las necesidades de las generaciones presentes

sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades. Para lograrlo es necesario mejorar las tecnologías actuales, buscando el aprovechamiento máximo de los recursos (Gutiérrez et al., 2012).

El “Desarrollo endógeno” es un modelo económico en el que las ciudades elaboran sus propuestas y proyectos, bajo el principio de la soberanía productiva y tecnológica o derecho de las comunidades para controlar su sistema agroproductivo y sus factores de forma autónoma y equitativa (Esprella y Lira, 2012). La agricultura orgánica se basa en el uso mínimo de insumos externos y evita al máximo los fertilizantes y plaguicidas sintéticos para mantener y mejorar la fertilidad del suelo, producir alimentos libres de residuos químicos y económicamente viables, utilizar la mayor cantidad posible de recursos renovables y locales, mantener la diversidad genética del sistema y su entorno, resguardar la salud de los agricultores y trabajar con ecosistemas de forma integrada (Cordero, 2010).

La comunidad microbiana desempeña un papel importante en el flujo de energía, transformación de nutrientes y reciclaje de alimentos en ambiente (Filip, 2002). La Teoría de la Infallibilidad Microbiana sostiene como que todo compuesto orgánico biológicamente sintetizado puede ser descompuesto por los microorganismos (Alexander, 1994). En este contexto, los residuos orgánicos de las diferentes actividades de los seres vivos pueden ser transformados, con impacto positivo o negativo en el ambiente (Carhuancho, 2012).

La degradación anaerobia de la materia orgánica bajo condiciones controladas produce el biogás con 50 - 70% de metano, 30 - 50% de dióxido de carbono, trazas de sulfuro de hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, hidrógeno y monóxido de carbono y un valor calórico de 19 - 22 MJ/m³. Para producir 0,35 m³ de metano es necesario estabilizar 1 kg de materia orgánica, en términos de demanda química de oxígeno. Con la ecuación de gases ideales y bajo condiciones normales de presión y temperatura 0,35 m³ de

materia corresponden a 4 kg de metano y se calcula que 1 kg de DQO estabilizada en anaerobiosis produce 0,35 m³ de metano con un valor calórico de 37 MJ/m³ (Chiriboga, 2010). Además del biogás se obtiene 10% de Biosol y 90 % de Biol (Carhuancho, 2012).

El efecto de los abonos orgánicos se basa en sus propiedades físicas, químicas y biológicas. El color oscuro de los abonos favorece la captación de mayor radiación solar, eleva la temperatura y la absorción de nutrientes. Asimismo, mejoran la estructura y textura del suelo haciendo más ligeros los suelos arcillosos y más compactos los arenosos, mejoran la permeabilidad al influir en el drenaje y aireación, disminuyen la erosión del agua y viento y aumentan la retención del agua debido a que mejoran la granulación y estabilidad de los agregados. Las propiedades químicas de los bioabonos favorecen el incremento del poder tampón del suelo y aumentan la capacidad de intercambio catiónico con el consecuente incremento de la fertilidad. Por sus propiedades biológicas los bioabonos, favorecen la actividad de las raíces y microorganismos aerobios, así como también constituyen una fuente de energía para los microorganismos (Salcedo, 2008; Vásquez, 2008; Montesinos, 2013).

Los abonos orgánicos aumentan la resistencia de los cultivos agrícolas porque aumentan la proteosíntesis. Cuanto mayor es la formación de proteínas, menor será la disponibilidad de aminoácidos libres, azúcares y minerales solubles y por lo tanto disminuirá el riesgo de ataque por hongos, bacterias, ácaros, nemátodos e insectos. Por el contrario, los agroquímicos disminuyen la respiración, transpiración y fotosíntesis, reduciendo la proteosíntesis y la resistencia de las plantas (Carhuancho, 2012).

Entre los principales bioabonos se menciona están el estiércol de vaca, oveja, caballo y cabra; té de estiércol; deyecciones animales como guano, gallinaza, palomina y excremento de murciélago; compost; turba, purines o mezcla de estiércol con orina de animales, humus de lombriz y bioles. Según su estado los bioabonos pueden ser

sólidos y líquidos. Los líquidos son ricos en nitrógeno amoniacal, hormonas, vitaminas y aminoácidos (Salcedo, 2008; Vásquez, 2008).

2.2.1 Digestión anaerobia

La digestión anaerobia es un proceso mediante el cual la materia orgánica se transforma en biomasa y compuestos inorgánicos volátiles como dióxido de carbono, amoníaco, sulfuro de hidrógeno, nitrógeno y metano. Naturalmente ocurre en el tracto digestivo de animales y en las aguas estancadas o pantanos, pero también puede realizarse en depósitos cerrados herméticamente o biodigestores. En la digestión anaerobia, el nitrato se transforma en amonio, el fósforo queda como fosfato y los iones férricos y manganeso son reducidos (Soria et al., 2001).

La digestión anaerobia de la materia orgánica comprende la hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. En la hidrólisis las bacterias hidrolizan las moléculas orgánicas complejas (proteínas, celulosa y lípidos) hasta unidades más simples como aminoácidos, glucosa, ácidos grasos y glicerol. En la acidogénesis, las bacterias fermentadoras acidogénicas convierten los compuestos orgánicos solubles de la hidrólisis en ácidos orgánicos como el acético, propiónico, butírico y alcoholes. En la acetogénesis, los ácidos grasos y alcoholes son convertidos en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono, así como también el metanol, ácidos propiónico y butírico son transformados en ácido acético por las bacterias acetogénicas. Finalmente, en la metanogénesis se produce el metano a partir del ácido acético o de mezclas de hidrógeno y dióxido de carbono, así como también de otros sustratos como ácido fórmico y metanol (Riquelme, 2009).

Los metanógenos son procariontes, que presentan diversos tipos de paredes celulares, que incluyen la pseudomureína de *Methanobacterium* y relacionados, la metinocondroitina de *Methanosarcina* y las glicoproteínas de *Methanococcus* y *Methanoplanus*. Los metanógenos son anaerobios estrictos y la mayoría son mesófilos,

aunque también se ha descrito extremófilos en lugares con altas temperaturas y alta salinidad. Se encuentran en los sedimentos de lagos, así como en el rumen de vacas, ovejas, camellos; en el cecum de caballos y conejos; en el intestino grueso de animales monogástricos y en el tubo digestivo de insectos celulolíticos como termitas (Madigan, et al., 2004).

Entre los sustratos utilizados para la metanogénesis se incluyen los de tipo dióxido de carbono (CO₂), sustratos metílicos y acetato. En la primera clase el dióxido de carbono, formiato o el monóxido de carbono son reducidos hasta metano, utilizando el hidrógeno como fuente de poder reductor. En la segunda clase, están los sustratos con grupo metilo, que son reducidos por el hidrógeno como una fuente externa de electrones. En ausencia de hidrógeno una pequeña cantidad de metanol es oxidado hasta dióxido de carbono para generar los electrones necesarios y reducir estas moléculas de metanol hasta metano. En la tercera clase de sustratos se forma metano y dióxido de carbono por ruptura del acetato (Parés y Juares, 1997; Madigan et al., 2004).

Las diversas materias primas que se puede utilizar en la metanogénesis pueden ser residuos de origen animal: estiércol, orina, guano, camas, residuos de mataderos, vísceras de pescado; residuos de origen vegetal: malezas, rastrojo de cosecha, pajas, forraje en mal estado, residuos de origen humano: heces, basura, orina; residuos agroindustriales: salvado de arroz, orujos, melazas; residuos forestales: hojas, ramas, cortejas y residuos de cultivos acuáticos: algas, jacintos y malezas (Varnero, 2011).

Los sustratos para la metanogénesis se pueden definir en función de su apariencia física, nivel de dilución, concentración, porcentaje de sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV) y demanda química de oxígeno (DQO). Los sustratos clase 1 sólidos: basura doméstica, estiércol sólido y residuos de cosecha con >20% ST pueden degradarse en digestores discontinuos o por lotes. Los sustratos clase 2: lodos

altamente contaminados viscosos y heces de animales con 5-10% ST son degradados en digestores de operación continua. Los sustratos clase 3 fluidos con alto contenido de sólidos suspendidos: heces de animales de cría y levante diluidas con agua de lavado con $3-17\text{gL}^{-1}$ DQO deben tratarse en digestores de filtro anaerobio. Los sustratos clase 4, fluidos, muy contaminados con sólidos en suspensión: aguas residuales de agroindustrias y aguas negras con $5-8\text{ gL}^{-1}$ DQO y $4-500\text{ gL}^{-1}$ DQO, respectivamente deben ser degradados en digestores continuos (Varnero, 2011).

El proceso de digestión anaerobia requiere combinar materiales ricos en nitrógeno con materiales abundantes en carbono para obtener un balance adecuado de carbono y nitrógeno entre 20 a 30, aunque la relación óptima es de 30:1. Si es menor (10:10) el nitrógeno se pierde y si es mayor (40:1), el crecimiento bacteriano se inhibe por falta de nitrógeno. En cuanto a la temperatura, las bacterias pueden ser psicrófilos ($<20^{\circ}\text{C}$), mesófilos ($20-40^{\circ}\text{C}$) y termófilos ($>40^{\circ}\text{C}$). El tiempo de digestión está relacionado con la temperatura. Respecto al pH, no debe bajar de 6 ni subir a 8. En el proceso, los microorganismos fermentativos presentan un óptimo de 7,2 - 7,4; los acetogénicos de 7,0 - 7,2 y los metanogénicos de 6,5 - 7,5. La agitación permite la remoción de los metabolitos producidos por las bacterias metanogénicas y el mezclado del sustrato con las bacterias evita la formación de costras dentro del digestor, uniformiza la diversidad bacteriana y evita la formación de espacios “muertos” sin actividad biológica (Carhuancho, 2012).

En el proceso de metanogénesis se utilizan diversos biodigestores. Los sistemas discontinuos se caracterizan por una carga y vaciado total de la cámara de digestión. Los digestores continuos se cargan en forma diaria, a diferencia de los semicontinuos que se descargan totalmente una o dos veces por año. En estos digestores el volumen que ingresa desplaza una cantidad equivalente de efluente que se evacúa por la salida, tal que el volumen de digestión se mantiene constante (Carhuancho, 2012).

2.2.2 Biofertilizante líquido: Biol

El Biol es el efluente líquido resultante de la descomposición anaerobia de la materia orgánica en un digestor que tiene como objetivo principal la producción de biogás. Para la obtención de Biol se pueden utilizar sólidos como el estiércol de bovino, porcino, cuy, gallinaza, vísceras de pescado, alfalfa, malezas picadas, etc. y líquidos como el agua, leche, melaza, purín y agua de coco. Generalmente la proporción es 5% estiércol de bovino, 5% de agua, 25% de estiércol de porcino o de gallinaza más 75% de agua (Cordero, 2010; Esprella y Lira, 2012; Montesinos, 2013).

El Biol es una fuente orgánica de reguladores que promueven las actividades fisiológicas y estimulan el desarrollo, favorecen el enraizamiento, amplían la base foliar, aumentan la floración, el vigor y poder germinativo de las semillas e incrementan el rendimiento agrícola (Carhuancho, 2012). Las hormonas vegetales o fitohormonas o fitoreguladores del desarrollo de las plantas, a bajas concentraciones regulan los procesos fisiológicos, además de promover el desarrollo físico de las plantas. Las principales hormonas que estimulan la formación de raíces y su fortalecimiento, inducen la floración, tienen acción fructificante y estimulan el crecimiento de tallos y hojas son las adeninas, purinas, auxinas, giberelinas y citoquininas. El Biol contiene estas cinco hormonas además de tiamina, riboflavina, ácido fólico, pantoténico, triptófano, cianocobalamina y piridoxinas (Carhuancho, 2012).

La aplicación de Biol favorece el intercambio catiónico con el suelo, amplía la disponibilidad de nutrientes del suelo, retiene la humedad y crea un microclima adecuado para las plantas. Conserva mejor el N, P, K y Ca debido a la descomposición anaerobia que permite aprovechar totalmente los nutrientes. Contiene nitrógeno amoniacal que es fácilmente asimilable (Esprella y Lira, 2012; Montesinos, 2013).

El Biol presenta ventajas frente a los fertilizantes químicos porque contiene nutrientes en formas no biodisponibles inmediatamente, tal que la nutrición que

recibirán las plantas será lenta y continua. Asimismo, incrementa el contenido de humus en el suelo, mejorando la estructura y textura, con lo que se facilita la aireación y mejora la capacidad de retención e infiltración del agua, con un menor costo económico e incremento significativo de la producción (Chiriboga, 2010).

El Biol puede ser biocida para controlar plagas y enfermedades, Biol para suelo y hojas que nutren a la planta y mejoran la fertilidad del suelo y Biol abono foliar que nutre directamente a la planta, acelera el crecimiento e incrementa el rendimiento de los cultivos agrícolas. El Biol puede ser aplicado directamente al suelo, en dilución de 10-30% en el agua de irrigación aplicada alrededor del tallo, de uso foliar aplicado en las hojas en diluciones de 1 - 10%, durante tres a cuatro veces en el periodo de cultivo y a la semilla para desinfectar y desinfestar y como biofertilizante para acelerar el enraizamiento (Carhuancho, 2012; Montesinos, 2013).

2.2.3 Estiércol de animales

El estiércol de animales es la principal fuente de abono orgánico y su apropiado manejo es una alternativa para ofrecer nutrientes a las plantas y a la vez mejorar las características físicas y químicas del suelo. En promedio del alimento proporcionado a los animales, solo la quinta parte es asimilada, el resto es eliminado en el estiércol y orina. Se puede considerar que el estiércol contiene 0,5% de N; 0,25% de P y 0,5% de K, es decir, 1 tonelada ofrece en promedio 5 kg de N; 2,5 kg de P y 5 kg de K; no obstante, la composición y la calidad del estiércol depende de la especie animal, alimentación, cantidad de materia seca y manejo (Carhuancho, 2012).

El estiércol es el componente sólido del Biol, como fuente de nitrógeno y en menor cantidad fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, zinc, cobre y boro. La producción diaria de estiércol fresco por cada 100 kg de peso es en promedio 4 kg para el cerdo; 7,7 kg para el bovino; 2,5 kg para el cuy y 7 kg para el equino. El estiércol de vacuno se encuentra formado por la mezcla de las deyecciones y la cama

del ganado. La composición química varía en función de la alimentación del animal, mencionándose 6-10% de materia seca; 0,29-0,58% N; 0,01-0,35% CaO; 0,04-0,13% MgO y 0,04-0,13% S₀₄. El estiércol de cuy junto al de caballo, son los de mejor calidad por sus propiedades físicas y químicas. La composición química es de 14% de materia seca; 0,6% N; 0,55% CaO; 0,18% MgO y 0,1% de S₀₄ (Cordero, 2010).

La gallinaza es la mezcla de heces y orina que se obtiene de la gallina enjaulada o de piso, junto a la porción de alimento no digerible, microorganismos de la biota Intestinal, plumas y huevos rotos. La gallinaza es la mezcla de heces y orina de pollos de engorde con cascarilla de arroz (Carhuancho, 2012). La gallinaza sólida es el producto de la fermentación, predominantemente aerobio de excrementos de los pollos con un material orgánico de naturaleza ligno-celulósica utilizado como cama o yacija, que suele ser aserrín o viruta de pino o eucalipto, aunque también se usa paja troceada o mezcla de paja y aserrín. La composición química es de 0,9-4,3% NH₄; 1,5-9% P₂O₅; 1-2,1% K₂O₅; 2,8-3,2% CaCO; 0,6-1,2% MgO, con un pH de 6,3-8,3 (Cordero, 2010).

La gallinaza seca tiene una mayor concentración de nutrientes; sin embargo, en un periodo largo los nutrientes se pueden perder por lixiviación o volatilización, perjudicando el valor como abono de este estiércol y a la vez se contamina el ambiente. 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 gallinaza en piso. La gallinaza fresca en promedio presenta (UFCg⁻¹): 1,19 x 10¹⁰ bacterias viables totales, 1,81 x 10⁹ lactobacilos y 5,67 x 10⁹ coliformes. La pollinaza fresca presenta (UFCg⁻¹): 6,8 x 10⁶ bacterias totales; 2,6 x 10⁴ hongos totales; 3,2 x 10² coliformes totales y debe ser negativa la presencia de *Salmonella* en 25g de muestra (Cordero, 2010; Carhuancho, 2012).

CAPÍTULO III

RESULTADOS

4.1 Características físico-químicas, microbiológicas y toxicidad de los estiércoles de animales y rastrojo

Los estiércoles presentaron 9,66 – 14,66% de humedad; 32,40 – 42,80% de cenizas; 71,08 – 91,36% de materia orgánica; 39,49 – 50,76% de carbono; 1,68 – 2,19% de nitrógeno; 21,97 – 23,50 en la relación C: N y 85,55 – 90,94% de sólidos totales (Tabla 1). Al rastrojo le correspondió 14,80% de humedad; 6,83% de cenizas; 78,76% de materia orgánica; 43,76% de carbono; 1,26% de nitrógeno; 34,73 en la relación C:N y 92,75% de sólidos totales.

Tabla 1. *Características físico-químicas de los estiércoles de animales y rastrojo, Lambayeque, 2018*

Características	Sustrato				
	Vacuno	Cuy	Aves de engorde	Porcino	Rastrojo
Humedad (%)	14,45	9,66	12,40	14,66	14,80
Cenizas (%)	32,40	40,80	42,80	36,80	6,83
Materia orgánica (%)	71,08	91,36	80,67	78,15	78,76
Carbono (%)	39,49	50,76	44,82	43,42	43,76
Nitrógeno (%)	1,68	2,19	2,04	1,93	1,26
Relación C:N	23,50	23,17	21,97	22,49	34,73
Sólidos totales (%)	85,55	90,94	87,60	88,48	92,75

Fuente: Elaboración Propia

En el análisis microbiológico los estiércoles presentaron coliformes totales, fecales, *E. coli* y microorganismos anaerobios (< a 1,8 a 2,2 x 10⁶ NMP/100mL). En el rastrojo se cuantificaron menos de 1,8 NMP/100mL coliformes totales, fecales y *E. coli*

y menos de 10 anaerobios. En los estiércoles y rastrojo no se encontró *Salmonella spp.* (Tabla 2).

Tabla 2. *Características microbiológicas de los estiércoles de animales y rastrojo, Lambayeque, 2018*

Características	Sustrato				
	Vacuno	Cuy	Aves de engorde	Porcino	Rastrojo
Coliformes totales (NMP/100mL)	1,8 x 10 ⁶	1,4 x 10 ⁶	1,4 x 10 ⁶	2,2 x 10 ⁶	< 1,8
Coliformes fecales (NMP/100mL)	3,9 x 10 ⁵	3,3 x 10 ⁵	2,7 x 10 ⁵	7,9 x 10 ⁵	< 1,8
<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	< 1,8	< 1,8	< 1,8	7,8 x 10 ⁴	< 1,8
Anaerobios (UFC/g)	2,3 x 10 ²	2,0 x 10 ²	2,0 x 10 ²	2,6 x 10 ²	< 10
<i>Salmonella spp.</i> (en 25mL)	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Fuente: Elaboración Propia

En el ensayo de toxicidad con los estiércoles y rastrojo se registraron índices de germinación de *Raphanus sativus* L. de 54 a 74% correspondientes a un nivel de moderado de toxicidad (Tabla 3).

Tabla 3. *Ensayo de toxicidad y nivel de toxicidad de los estiércoles de animales y rastrojo, Lambayeque, 2018*

Sustrato	Índice de germinación (%)	Nivel de toxicidad
Estiércol de vacuno	66	Moderado
Estiércol de cuy	60	Moderado
Estiércol de aves de engorde	66	Moderado
Estiércol de porcino	54	Moderado
Rastrojo	74	Moderado

Fuente: Elaboración Propia

4.2 Mezclas de estiércoles de animales con rastrojo formuladas con una relación C:N de 25 a 26:1

Las mezclas de cuatro estiércoles de animales con rastrojo presentaron un rango en la relación C:N de 24,98 – 25,45 requiriéndose 178,64 – 229,58 g de estiércol; 47,0 – 90,05 g de rastrojo y 720 g de aditivos (Tabla 4).

Tabla 4. *Peso (kg) de los sustratos requeridos para la formulación de cuatro mezclas de estiércoles de vacuno, cuy, ave de engorde y porcino, Lambayeque, 2018*

Tratamientos	Estiércol (g)	Rastrojo (g)	Aditivos* (g)	Relación C:N
T ₁ : Estiércol de vacuno	229,58	47,00	720	24,98
T ₂ : Estiércol de cuy	199,13	64,81	720	25,33
T ₃ : Estiércol de aves de engorde	178,64	90,05	720	25,21
T ₄ : Estiércol de porcino	191,97	75,63	720	25,45

*Yogurt = 216 mL, chicha de jora = 216 mL, melaza = 216 mL, cenizas = 60 g, cáscaras de huevo = 12 g

Fuente: Elaboración Propia

Los sólidos totales iniciales de las mezclas de los estiércoles obtenidos en el experimento piloto fueron de 11,89 – 19,77%; requiriéndose un volumen de agua de 845 mL (T₁), 1270 mL (T₂), 565 mL (T₃) y 830 mL (T₄) para alcanzar 8 – 10% de sólidos totales finales. Según el cálculo por regla de tres simple a un volumen de 3 L se vertieron 1,69 L (estiércol de vacuno), 2,54 L (estiércol de cuy), 1,13 L (estiércol de aves) y 1,66 L (estiércol de porcino) para alcanzar sólidos totales finales de 8,10 a 9,32% (Tabla 5).

Tabla 5. *Porcentajes de humedad y sólidos totales de cuatro mezclas de estiércoles y volumen de agua requerido para alcanzar 8 – 10% de sólidos totales, Lambayeque, 2018*

Tratamientos	Humedad (%)	Sólidos totales inicial (%)	Agua (L)	Sólidos totales final (%)
T ₁ : Estiércol de vacuno	14,45	14,96	1,69	9,32
T ₂ : Estiércol de cuy	9,66	19,77	2,54	8,14
T ₃ : Estiércol de aves de engorde	12,40	11,89	1,13	9,20
T ₄ : Estiércol de porcino	14,66	14,86	1,66	8,10

Fuente: Elaboración Propia

4.3 Tiempo de retención para la producción de abono líquido Biol por digestión anaerobia de cuatro estiércoles de animales y rastrojo

Durante la digestión anaerobia de las cuatro mezclas de estiércoles de animales y rastrojo se observaron variaciones de las características físico-químicas, microbiológicas y toxicidad (Tablas 6 a 9). El pH y la CE disminuyeron en las mezclas conforme transcurrió el tiempo de retención, a excepción de la CE en T₄ (estiércol de porcino) donde se incrementó, alcanzando el valor máximo a los 60 días. El menor valor en el pH se alcanzó a los 45 días en T₁ (estiércol de vacuno) y T₃ (aves de engorde) y a los 60 días en T₂ (cuy) y T₄. El menor valor en la CE se registró a los 45 días en T₂ y 60 días en T₂ y T₃.

Tabla 6.

Características físico-químicas de cuatro mezclas de estiércoles y rastrojo a los 0, 30, 45 y 60 días de digestión anaerobia, Lambayeque, 2018

Características físico-químicas	T ₁ : Estiércol de vacuno				T ₂ : Estiércol de cuy				T ₃ : Estiércol de aves de engorde				T ₄ : Estiércol de porcino			
	0	30	45	60	0	30	45	60	0	30	45	60	0	30	45	60
pH	8,40	7,44	5,34	6,20	8,20	6,32	6,21	6,00	8,10	6,70	5,94	6,60	8,30	7,44	6,06	6,00
CE(dS/m)	13,50	7,20	9,00	8,40	5,20	8,30	6,10	4,70	8,70	6,60	9,00	3,50	4,80	7,10	10,20	13,40
Sólidos totales (g/L)	36,00	40,60	45,00	50,10	30,20	34,10	37,00	40,00	30,00	36,40	38,20	41,20	32,10	34,00	37,00	38,10
Materia orgánica (g/L)	22,60	23,10	24,20	29,10	21,00	23,00	25,80	29,40	18,20	22,50	28,30	32,10	18,00	20,10	16,40	12,40
Nitrógeno total (mgL ⁻¹)	1123,7	1090,2	1246,4	1366,4	780,00	1138,3	1024,0	1187,0	1138,2	1309,0	1642,5	1708,0	849,80	1072,0	1422,0	1121,2
Fósforo total (mgL ⁻¹)	150,20	220,94	248,63	239,40	212,60	287,62	269,00	309,60	205,60	243,02	283,43	329,10	71,40	52,28	122,30	167,00
Potasio total (mgL ⁻¹)	1986,0	3483,0	4462,0	4720,4	2180,0	4460,0	5240,0	4832,0	1984,0	3240,4	5430,0	5760,0	1187,0	2080,0	2460,0	1940,0
Calcio (mgL ⁻¹)	864,00	1418,6	2482,0	2430,6	906,00	1120,4	2118,0	2420,0	1504,0	2602,3	2866,0	3204,0	544,00	752,30	418,00	243,60
Magnesio (mgL ⁻¹)	502,00	790,40	1060,0	1100,9	460,00	680,20	790,00	960,40	704,00	960,20	1340,2	1530,0	167,10	330,00	560,10	633,60

Fuente: Elaboración Propia

Los valores de sólidos totales, materia orgánica, nitrógeno total, fósforo total, potasio total, calcio y magnesio se incrementaron conforme el tiempo de retención alcanzando los máximos valores en todas las características a los 60 días en T₃, a excepción del potasio total en T₂ (45 días), fósforo total y calcio en T₁ (45 días), nitrógeno total y potasio total (45 días) y materia orgánica y calcio (30 días) en T₄.

Los coliformes totales, fecales y *E. coli* disminuyeron conforme transcurrió el tiempo de retención en la digestión anaerobia, alcanzando los valores mínimos a los 60 días, a excepción de los anaerobios cuya población se incrementó hasta los 60 días (Tabla 7).

Tabla 7. Características microbiológicas de cuatro mezclas de estiércoles y rastrojo a los 0, 30, 45 y 60 días de digestión anaerobia, Lambayeque, 2018

Tratamientos	Días de digestión	Coliformes totales (NMP/100mL)	Coliformes fecales (NMP/100mL)	<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	Anaerobios (UFC/mL)	<i>Salmonella</i> spp. (en 25 mL)
T ₁ : Estiércol de vacuno	0	2,2 x 10 ⁶	7,0 x 10 ⁵	2,1 x 10 ⁵	< 10 ³	Ausencia
	30	6,3 x 10 ⁵	2,7 x 10 ⁵	7,8 x 10 ⁴	2,1 x 10 ⁴	Ausencia
	45	1,4 x 10 ⁵	7,8 x 10 ⁴	4,5 x 10 ⁴	2,6 x 10 ⁵	Ausencia
	60	6,8 x 10 ⁴	4,0 x 10 ⁴	< a 1,8	3,3 x 10 ⁶	Ausencia
T ₂ : Estiércol de cuy	0	2,8 x 10 ⁶	3,3 x 10 ⁵	1,4 x 10 ⁵	< 10 ³	Ausencia
	30	6,8 x 10 ⁴	4,5 x 10 ⁴	2,0 x 10 ⁴	2,2 x 10 ⁴	Ausencia
	45	2,0 x 10 ⁴	2,0 x 10 ⁴	2,0 x 10 ⁴	2,8 x 10 ⁵	Ausencia
	60	< 1,8	< 1,8	< 1,8	3,7 x 10 ⁶	Ausencia
T ₃ : Estiércol de aves de engorde	0	1,7 x 10 ⁶	2,7 x 10 ⁵	1,1 x 10 ⁵	< 10 ³	Ausencia
	30	6,1 x 10 ⁴	4,0 x 10 ⁴	2,0 x 10 ⁴	2,2 x 10 ⁴	Ausencia
	45	2,0 x 10 ⁴	2,0 x 10 ⁴	2,0 x 10 ⁴	2,9 x 10 ⁵	Ausencia
	60	< 1,8	< 1,8	< 1,8	3,8 x 10 ⁶	Ausencia
T ₄ : Estiércol de porcino	0	3,5 x 10 ⁶	1,3 x 10 ⁶	2,7 x 10 ⁵	< 10 ³	Ausencia
	30	7,9 x 10 ⁵	2,7 x 10 ⁵	2,2 x 10 ⁵	2,3 x 10 ⁴	Ausencia
	45	4,9 x 10 ⁵	1,4 x 10 ⁵	1,1 x 10 ⁵	2,3 x 10 ⁵	Ausencia
	60	7,8 x 10 ⁴	4,5 x 10 ⁴	4,5 x 10 ⁴	2,8 x 10 ⁵	Ausencia

Fuente: Elaboración Propia

Los menores valores en coliformes totales, coliformes fecales, *E. coli* y anaerobios correspondieron a T₂, seguido de T₃ y los mayores valores a T₄, seguido de T₁. No se encontró *Salmonella* spp. en los cuatro tratamientos.

Los índices de germinación de rabanito por efecto de las cuatro mezclas de estiércoles y rastrojo se incrementaron conforme el tiempo de retención en la digestión anaerobia, oscilando entre 28 a 36% a los 0 días y 66 a 88% a los 60 días (Tabla 8).

Tabla 8. *Índice de germinación de Raphanus sativus L. por efecto de cuatro mezclas de estiércoles y rastrojo a los 0, 30, 45 y 60 días de digestión anaerobia, Lambayeque, 2018*

Tratamiento	Índice de germinación (%)			
	0	30	45	60
T ₁ : Estiércol de vacuno	36	46	73	76
T ₂ : Estiércol de cuy	32	40	73	76
T ₃ : Estiércol de aves de engorde	36	44	82	88
T ₄ : Estiércol de porcino	28	38	55	66

Fuente: Elaboración Propia

El nivel de toxicidad a los 0 y 30 días fue severo en los cuatro tratamientos y desde los 45 días fue moderado en T₁, T₂ y T₄ y bajo con T₃ (Tabla 9).

Tabla 9. *Niveles de toxicidad en el índice de germinación de Raphanus sativus L. por efecto de cuatro mezclas de estiércoles y rastrojo a los 0, 30, 45 y 60 días de digestión anaerobia, Lambayeque, 2018*

Tratamiento	Nivel de toxicidad / día			
	0	30	45	60
T ₁ : Estiércol de vacuno	Severo	Severo	Moderado	Moderado
T ₂ : Estiércol de cuy	Severo	Severo	Moderado	Moderado
T ₃ : Estiércol de aves de engorde	Severo	Severo	Bajo	Bajo
T ₄ : Estiércol de porcino	Severo	Severo	Moderado	Moderado

Fuente: Elaboración Propia

A los 60 días de retención en la digestión anaerobia de cuatro mezclas de estiércoles y rastrojo se alcanzaron en su mayoría los menores valores en el pH y CE, los mayores valores en sólidos totales, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio total, los menores valores en los microorganismos y los mayores índices de germinación. Con base a estos resultados se determinó que 60 días es el tiempo de retención adecuado para la producción del abono líquido Biol por digestión anaerobia de cuatro estiércoles de animales y rastrojo.

4.4 Rendimiento y características de los Bioles obtenidos

El rendimiento de los Bioles obtenidos (Tabla 10) osciló entre 50% (T₄) y 83,3% (T₃) del volumen inicial. Los dos mayores rendimientos correspondieron a T₃ (83,3%) y T₂ (76,6%) de los Bioles de estiércoles de aves de engorde y cuy, respectivamente (Tabla 10).

Tabla 10. *Rendimiento del Biol obtenido de cuatro mezclas de estiércoles y rastrojo durante 60 días de digestión anaerobia, Lambayeque, 2018*

Tratamientos	Volumen inicial (L)	Biol (L)	Rendimiento (%)
T ₁ : Biol - vacuno	3,0	1,8	60,0
T ₂ : Biol - cuy	3,0	2,3	76,6
T ₃ : Biol – aves de engorde	3,0	2,5	83,3
T ₄ : Biol – porcino	3,0	1,6	50,0

Fuente: Elaboración Propia

Estos Bioles se seleccionaron debido a que presentaron los menores valores en la CE, coliformes totales, fecales, *E. coli* y los mayores valores en el NPK y rendimiento (Tabla 11).

Tabla 11. *Características físico-químicas y microbiológicas del Biol obtenido durante 60 días de digestión anaerobia de cuatro mezclas de estiércoles de animales y rastrojo, Lambayeque, 2018*

Características	T₁ Estiércol de vacuno	T₂ Estiércol de cuy	T₃ Estiércol de aves de engorde	T₄ Estiércol de porcino
Conductividad eléctrica (dS/m)	8,40	4,70	3,50	13,40
Nitrógeno total (mgL ⁻¹)	1366,4	1187,0	1708,0	1121,2
Fósforo total (mgL ⁻¹)	239,40	309,60	329,10	167,00
Potasio total (mgL ⁻¹)	4720,4	4832,0	5760,0	1940,0
Coliformes totales (NMP/100mL)	6,8 x 10 ⁴	< 1,8	< 1,8	7,8 x 10 ⁴
Coliformes fecales (NMP/100mL)	4,0 x 10 ⁴	< 1,8	< 1,8	4,5 x 10 ⁴

Fuente: Elaboración Propia

Con los valores de NPK se contrastó la normalidad de los datos y homogeneidad de varianzas. En ambas pruebas se aceptó la hipótesis nula ($p > 0,05$) indicando que las muestras, así como la población de la que provienen tienen una distribución normal y las varianzas son homogéneas (Anexos 6, 7). La prueba "F" del análisis de varianza demostró alta significancia para los contenidos de nitrógeno, fósforo y potasio (Anexo 8) indicando que existió efecto de los tratamientos en estas características y según la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha = 0,05$) los mayores valores correspondieron a T₃ (Biol de estiércol de aves de engorde), con diferencias significativas frente a los demás tratamientos (Tabla 12).

Tabla 12. *Prueba de comparaciones múltiples de Tukey del nitrógeno, fósforo y potasio de los Bioles obtenidos por digestión anaerobia de cuatro mezclas de estiércoles de animales y rastrojo, Lambayeque, 2018*

Tratamientos	Nitrógeno total (mgL⁻¹)	Fósforo total (mgL⁻¹)	Potasio total (mgL⁻¹)
T ₁ : Biol - vacuno	1366,4 b	239,40 c	4720,4 b
T ₂ : Biol - cuy	1187,0 c	309,60 b	4832,0 b
T ₃ : Biol – aves de engorde	1708,4 a	329,10 a	5760,0 a
T ₄ : Biol – porcino	1121,2 c	167,00 d	1940,0 c

Tukey ($\alpha= 0,05$)

Fuente: Elaboración Propia

4.5 Efectividad agronómica de dos Bioles en *Raphanus sativus* L.

Los mayores valores en la altura, número de hojas y peso de raíces de las plantas de rabanito correspondieron a T₃, seguido de T₂. Ambos Bioles superaron al testigo absoluto sin aplicación (Tabla 13, figura 20).

Tabla 13. *Altura (cm), número de hojas y peso fresco de la raíz de Raphanus sativus L. rabanito por efecto del Biol seleccionado y testigo absoluto, Lambayeque, 2018*

Tratamientos	Altura (cm)	Hojas (Nº)	Raíces (g)	Raíces (kgm⁻²)
T ₁ : Testigo absoluto	31,73 c	6,10 b	15,06 c	0,83 c
T ₂ : Biol - cuy	35,98 b	6,30 b	24,67 b	1,36 b
T ₃ : Biol – aves de engorde	38,95 a	7,13 a	35,22 a	1,95 a

Tukey ($\alpha= 0,05$)

Fuente: Elaboración Propia

Los valores de altura de planta, pero no del número de hojas y peso de raíces (Anexos 9 a 14) presentaron tanto normalidad como homogeneidad de varianzas ($p > 0,05$). La prueba F del análisis de varianza demostró alta significancia para la altura (Anexo 15) y según la prueba de comparaciones múltiples de Tukey ($\alpha = 0,05$) los mayores valores se alcanzaron con T₃ (Biol de estiércol de aves de engorde)



Figura 20. Plantas de *Raphanus sativus* L. “rabanito” cosechadas, mostrando las raíces y hojas por efecto del Testigo (a), Biol estiércol de aves (b) y Biol estiércol de cuy (C).

Fuente: Registro Fotográfico Propio

con diferencias significativas frente a los demás tratamientos (Tabla 13). La prueba no paramétrica de Kruskal Wallis demostró que los mayores valores en el número de hojas y peso de raíces también correspondieron a T₃, superando al T₂ (Biol de estiércoles de cuy) y T₁ (Testigo absoluto).

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN

Los estiércoles así como el rastrojo presentaron carbono y nitrógeno, nutrientes que son adecuados para la obtención del abono orgánico Biol (Cordero 2010; Benavides y Plasencia 2012; Salazar et al., 2012). Los valores en las características físico – químicas no fueron similares en los distintos estiércoles coincidiendo con Benavides y Plasencia (2012). La composición del estiércol depende de la especie de animal y de la alimentación durante la crianza, pero todos tienen nutrientes que pueden ser utilizados para mejorar el suelo y cultivos agrícolas (Ulloa, 2015).

El estiércol de cuy presentó los mayores porcentajes de carbono, nitrógeno y materia orgánica. Según Ulloa (2015) el estiércol de cuy o cobayo es el que presenta mayor calidad respecto a otros animales, es de fácil recolección y se producen 2 a 3 kg por cada 100 kg de peso.

La utilización de aditivos para la elaboración de Biol coincide con Basantes (2009), Cordero (2010) y Benavides y Plasencia (2012). Estos insumos aportan elementos requeridos para la digestión anaerobia como son microorganismos que se encargan de la degradación de los sustratos orgánicos (yogurt, chicha de jora, melaza), calcio (cáscaras de huevo) y minerales (ceniza) que regulan la acidez en el proceso de digestión (Benavides y Plasencia, 2012). También se pueden utilizar harina de sangre, roca fosfórica, leche, alfalfa, levaduras (Basantes, 2009), sulfato de magnesio, leche, alfalfa, miel de caña (Cordero, 2010) y melaza (Esprella y Lira, 2012).

La relación C: N fue de 25 a 26:1 en las mezclas formuladas con estiércoles y rastrojos. El carbono además de ser un constituyente básico, es la fuente de energía y el nitrógeno es requerido para la formación de nuevas células. Los mayores

rendimientos durante la metanogénesis para la obtención de Biol se obtienen con una relación C: N entre 25 a 30:1. Si la relación C: N es mínima (10:1), el nitrógeno asimilable se pierde y si la relación C: N es muy amplia (40:1) el crecimiento de las bacterias se inhibe por falta de nitrógeno (Benavides y Plasencia, 2012).

La calidad del efluente en la digestión de los estiércoles varía según el porcentaje de sólidos totales porque éstos constituyen el alimento de los microorganismos que degradan la materia orgánica, considerándose 8-10% un rango óptimo para la digestión (Tay, 2017).

El tiempo de retención requerido para la producción de Biol por digestión anaerobia fue de 60 días, periodo similar al reportado por Cordero (2010) y Benavides y Plasencia (2012). También se han registrado periodos más cortos de 40 días (Vásquez, 2008; Viracucha y Suquilandia, 2008) y más largos de 90 días (Carhuancho, 2012; Montesinos, 2013) y 120 días (Medina et al., 2015). En la digestión anaerobia la materia orgánica se transforma en biomasa, compuestos inorgánicos no volátiles y volátiles (metano, dióxido de carbono, nitrógeno molecular y sulfuro de hidrógeno) con la intervención secuencial de bacterias hidrolíticas y fermentadoras, acetogénicas obligadas productoras de protones, homoacetogénicas consumidoras de protones y metanogénicas (Varnero, 2011).

Las variaciones observadas en las características físico-químicas y microbiológicas de los sustratos orgánicos durante la digestión anaerobia son consecuencia de la actividad metabólica de los microorganismos responsables del proceso (Varnero, 2011). La disminución del pH coincide con los reportes de Medina et al. (2015) y Ulloa (2015) quienes obtuvieron Bioles de estiércoles de ovino, vacuno, cuy y gallinaza. El pH es un factor crítico para el desarrollo y actividad de los microorganismos y debe mantenerse en un rango de 6 a 7,6 (Varnero, 2011)

Los microorganismos anaerobios cuya población se incrementó conforme transcurrió el tiempo de digestión, consumieron los compuestos solubles (Benavides y Plasencia, 2012) y como consecuencia la CE o concentración de sales solubles mostró tendencia a la disminución, a excepción del estiércol vacuno, donde la CE se incrementó de 4,8 a 13,4 dS/m. Este incremento también fue observado en la digestión anaerobia de estiércoles de vacuno, cuy y gallinaza por Cordero (2010) con rangos de 13–33 a 16–36 dS/m y Ulloa (2015) con rangos de 5,4–7,6 a 15,2–31,7 dS/m. Según Benavides y Plasencia (2012) la disminución del volumen inicial implica la concentración de las sales en los sustratos, aseveración que en la presente investigación se cumple con los volúmenes de los estiércoles de vacuno y porcino disminuidos en 40 y 47% y cuyos Bioles presentaron CE de 8,4 y 13,4 dS/m, respectivamente.

Los coliformes totales, fecales, *E. coli* y *Salmonella* spp. son microorganismos que se pueden encontrar en las excretas de los animales; no obstante, su presencia en un abono orgánico implica riesgos para la salud de las personas, calidad del suelo y cultivos agrícolas (Medina et al., 2015). Por esta razón, en la digestión anaerobia se investigaron estos microorganismos cuyas poblaciones disminuyeron gradualmente, coincidiendo con las observaciones de Medina et al. (2015) y Ulloa (2015). La anaerobiosis favoreció a los microorganismos anaerobios cuya población se incrementó conforme el tiempo transcurrió; sin embargo, estos microorganismos no representan riesgo porque una vez concluido el proceso, durante la filtración del Biol obtenido, el oxígeno los destruye rápidamente.

Los sólidos totales, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio se incrementaron conforme transcurrió la digestión anaerobia y los valores al final del proceso superaron a los iniciales, resultados que fueron reportados

previamente por Oyuela (2010) y Benavides y Plasencia (2012). En promedio el 90% del material orgánico en la fermentación anaerobia se transforma en Biol y los nutrientes se mantienen, con la diferencia que aumenta la disponibilidad. Por ejemplo, el nitrógeno total disminuye y aumenta el amoníaco entre 9 a 31% (Aparcana y Jansen, 2008).

Los menores valores en el nitrógeno, fósforo, potasio, conductividad eléctrica, coliformes totales y fecales determinaron la selección de los Bioles de estiércoles de aves de engorde y de cuy. El rango de pH de 6,0–6,6 de los Bioles es similar a 6,15–6,16 registrado por Cordero (2010) para Bioles de estiércoles de gallinaza, cuy y ovino; se encuentra en el rango de 6,3–7,7 reportado por Basantes (2009) para Bioles de estiércoles de bovino y ovino y es mayor al rango 5,02–5,69 encontrado por Ulloa (2015) en Bioles de estiércoles de cuy, vacuno y gallinaza.

Los valores en la CE de 3,5 a 4,7 dS/m registrados en los Bioles seleccionados están en el rango de 3,2 – 5,8 reportado por Basantes (2009) para un Biol de estiércol de ovino; no obstante, Cordero (2010) registró un rango de 16,84 – 36,4 dS/m en Bioles de estiércol de vacuno, cuy y gallinaza.

Los valores de N, P y K de los Bioles de estiércoles de cuy y aves de engorde son similares a los registrados en el Biol de una mezcla de estiércol de caprino y gallinaza obtenido por Benavides y Plasencia (2012) con 1708 mg NL⁻¹, 309 PL⁻¹ y 5760 mg KL⁻¹; no obstante, Aparcana y Jansen (2008) concluyeron que la composición del Biol depende mucho del tipo de residuo que entre en el biodigestor, sugiriendo que cada Biol es único.

El NMP/100mL de coliformes totales y fecales fue menor de 10 en los Bioles seleccionados, resultado que evidencia la inocuidad del producto. Este resultado coincide con el reportado por Ulloa (2015) para Bioles de gallinaza obtenido después de 61 días de digestión anaerobia.

La aplicación de los Bioles incrementó el desarrollo vegetativo y rendimiento de rabanito, coincidiendo con Cordero (2010) y Benavides y Plasencia (2012). El Biol tiene un efecto positivo en los cultivos agrícolas, habiéndose registrado incremento en la altura, número tallos por planta, número de hojas y rendimiento de forraje en *Lolium perenne* (Vásquez, 2008; Montesinos, 2013), altura, número de hojas y rendimiento de *Brassica oleracea* var. Legacy “brócoli” (Basantes, 2009), altura, diámetro de tallos y ancho de hojas de maíz (Esprella y Lira, 2012).

El Biol presenta macronutrientes NPK, pero también fitorreguladores que estimulan el desarrollo de las plantas, favoreciendo el vigor y poder germinativo de las semillas, biomasa, floración y rendimiento de los cultivos agrícolas (Aparcana y Jansen, 2008). Según los resultados de la presente investigación, los Bioles obtenidos por digestión anaerobia de estiércoles de aves de engorde y cuy constituyen abonos orgánicos que aportan a la planta los nutrientes indispensables para su desarrollo. También son fuente de microorganismos benéficos, mejorando la condición física del suelo y aportan materia orgánica y fitorreguladores (Benavides y Plasencia, 2012).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

- 5.1** Los estiércoles de aves de engorde, cuy, porcino y vacuno y el rastrojo presentaron humedad, materia orgánica, carbono, nitrógeno, coliformes totales y fecales, *Escherichia coli*, microorganismos anaerobios y un nivel moderado de toxicidad en la germinación de rabanito.
- 5.2** Para la producción del abono líquido Biol se formularon cuatro mezclas de estiércoles de aves de engorde, cuy, porcino y vacuno con rastrojo, presentando un rango de 24,98 a 25,45 en la relación C: N.
- 5.3** El tiempo de retención fue de 60 días para la producción de Biol por digestión anaerobia de cuatro mezclas de estiércoles de animales y rastrojo.
- 5.4** Los mayores valores en el rendimiento y NPK así como los menores valores en la CE, coliformes totales y fecales y *E. coli* correspondieron al Biol T₃ (estiércol de aves de engorde) y T₂ (estiércol de cuy).
- 5.5** Los Bioles T₃ y T₂ presentaron efectividad agronómica, al incrementar el número de hojas, altura de planta y peso de raíces de rabanito, alcanzándose los mayores incrementos con T₃.

CAPÍTULO VI

RECOMENDACIONES

- Determinar el contenido de micronutrientes en los Bioles de estiércol de aves de engorde (T₃) y cuy (T₂).
- Comparar el efecto de los Bioles de estiércol de aves de engorde (T₃) y cuy (T₂) en el desarrollo vegetativo y rendimiento de diferentes cultivos agrícolas.
- Establecer los costos para la producción de Biol con estiércol de aves de engorde (T₃) y cuy (T₂).

CAPÍTULO VII

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alexander, M. (1994). *Introducción a la Microbiología del Suelo*. México: Editorial AGTSA.
- Aparcana, S. y Jansen, A. (2008). Estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso “Fermentación Anaeróbica” para producción de Biogás. *German ProfEC*, Lima, Perú. Recuperado de: http://www.german-profec.com/cms/upload/Reports/Estudio%20sobre%20el%20Valor%20Fertilizante%20de%20los%20Productos%20del%20Proceso%20Fermentacion%20Anaerobica%20para%20Produccion%20de%20Biogas_ntz.pdf
- Arrieche, I. y Pacheco, Y. (2000). Determinación de carbono orgánico en muestras de suelos mediante dos procesos analíticos. *Revista Venesuelos*, 6(1), 9-13. Recuperado de : https://www.researchgate.net/publication/279679946_DETERMINACION_DE_CARBONO_ORGANICO_EN_MUESTRAS_DE_SUELOS_MEDIANTE_DOS_PROCEDIMIENTOS_ANALITICOS
- Barreto, G. y Córdova, J. (2012). *Bacterias aisladas del Dren 4000 para la obtención de proteína a partir de metano producido con excretas de *Cavia porcellus* "cuy" y residuos lignocelulósicos en Lambayeque, 2011*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú.
- Basantes, E. (2009). *Elaboración y aplicación de dos tipos de Biol en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* Var. Legacy)*. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Benavides, A. y Plasencia, C. (2012). *Caracterización físico-química y biológica del abono líquido Biol obtenido por digestión anaerobia de tres sustratos orgánicos en*

- Jayanca, Lambayeque*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú.
- Cajo, L. y Nizama, L. (2008). *Concentración de inóculo levaduriforme y sustrato vinasa-melaza en la producción de biomasa con cepa nativa de Candida utilis*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú.
- Camacho, A., Giles, M., Ortegón, A., Palao, M., Serrano, B. y Velázquez, O. (2009). *Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos*. (2^a ed). Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/TecnicBasicas-Colif-tot-fecales-Ecoli-NMP_6529.pdf
- Carhuancho, F. (2012). Aprovechamiento del estiércol de gallina para la elaboración de Biol en biodigestores tipo Batch como propuesta al manejo de residuo avícola. *XIX Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XIX- SPES)*, Puno, 11, 12 -17. Recuperado de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1769>
- Chiriboga, O. (2010). *Desarrollo del proceso de producción de biogas y fertilizante orgánico a partir de mezclas de desechos de procesadoras de frutas*. (Tesis de pregrado). Universidad San Francisco de Quito, Ecuador.
- Contreras, H. (2017). *Eficiencia de la biodegradación de hidrocarburos de petróleo por hongos filamentosos aislados de suelo contaminado*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, Perú.
- Cordero, I. (2010). *Aplicación de Biol a partir de residuos: ganaderos, de cuy y gallinaza, en cultivo de Raphanus sativus L. para determinar su incidencia en la calidad del*

suelo para agricultura. (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.

Esprella, M. y Lira, M. (2012). *Producción de biofertilizante a partir de residuos orgánicos mediante la implementación de un sistema biodigestor para la aplicación sobre cultivos en parcela*. (Tesis de pregrado). Instituto Universitario de Tecnología, Venezuela.

Filip Z. (2002). International approach to assessing soil quality by ecologically related biological parameters. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 88, 169-174. doi: 10.1016/s0167-8809(01)00254-7

García, C., Soriano, J., Benítez, V. & Catalá, P. (2011). Assessment of *Salmonella* spp. in feces, cloacal swabs, and eggs (eggshell and content separately) from a laying hen farm. *Poultry Science*, 90(7), 1581 – 1585. doi: 10.3382/ps.2010-01104.

Gutiérrez, G., Mondaca, I., Meza, M., Félix, A., Balderas, J. y Gortáres, P. (2012). Biogás: una alternativa ecológica para la producción de energía. *Ideas@s CONCYTEC*, 7(85), 881-894. Recuperado de: https://ecitydoc.com/download/biogas-una-alternativa-ecologica-para-la-produccion-de-energia_pdf

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación* (6^{ta} ed.). México: Mc Graw, Hill Interamericana Editores S.A.

Instituto Ecuatoriano de Normalización (1998). *NTE INEN 1 529-17: Control microbiológico de los alimentos. Bacterias anaerobias mesófilas. Recuento en tubo por siembra en masa*. INEN, Ecuador. Recuperado de: <https://archive.org/details/ec.nte.1529.17.1998/page/n0>

Madigan, M., Martinko J. y Parker, J. (2004). *Biología de los Microorganismos*. (10^{ma} ed). España: Pearson Educación.

- Marichal, G. (2010). *Evaluación preliminar de excretas animales como inóculo para la producción de biogás*. (Tesis de pregrado). Universidad de La Habana, Cuba.
- Medina, A., Quipuzco, L. y Juscamaita, J. (2015). Evaluación de la calidad de biol de segunda generación de estiércol de ovino producido a través de biodigestores. *Anales Científicos*, 76(1), 116-124. doi: <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v76i1.772>
- Montesinos, D. (2013). *Uso de lixiviado procedente de material orgánico de residuos de mercados para la elaboración de biol y su evaluación como fertilizante para pasto*. (Tesis de maestría). Universidad de Cuenca, Ecuador.
- Municipalidad Provincial de Lambayeque. (2015). Ubicación geográfica de la Provincia de Lambayeque. Recuperado en: http://www.minulambayeque.gob.pe/ubicación_geografica.php
- Oyuela, F. (2010). *Evaluación de la producción de biogás y biol a partir de la torta de Jatropha curcas L.* (Tesis de pregrado). Universidad de Zamorano, Honduras
- Paredes, A. (2009). *Diseño de plantas de biogás (primera parte – dimensionado de un biodigestor básico)*. Lima, Perú.
- Parés, R. y Juarez, A. (1997). *Bioquímica de los Microorganismos*. México: Editorial Reverté, S.A.
- Purisaca, D. y Quevedo, H. (2015). *Eficiencia de la biorremediación de suelos contaminados con petróleo por Actinobacterias nativas de la provincia de Talara, región Piura*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú.
- Reupo, J. y Vásquez, A. (2009). *Bromatología Analítica*. Lambayeque, Perú: Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo.
- Riquelme, J. (2009). Problemas de estimación y observación en procesos de biodigestión anaerobia. Congreso Ingelectra, Chile.

- Rodríguez, C. (2012). *Producción de biogás a partir del bagazo cervecero*. (Tesis de pregrado). Universidad de Chile, Chile.
- Salazar, J., Amusquivar, C., Llave, J. y Rivasplata, C. (2012). Producción de biogás y biol a partir de excretas de ganado: experiencias en la ciudad Tacna. *Simposio Peruano Solar y del Ambiente (XIX-SPES)*, Puno, 11, 14-17. Recuperado de: <http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2013/01/6.pdf>
- Salcedo, L. (2008). *Elaboración y evaluación de un Biol frente a los abonos químico en un cultivo de pepino, en la parroquia Guayllabamba del Cantón Quito Provincia de Pichincha*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja, Ecuador.
- Soria, M., Ferrera, R, Etchevers, J., Alcantar, G., Trinidad, J., Borges, L. y Pereyda G. (2001). Producción de biofertilizante mediante biodigestión de excretas líquidas de cerdo. *Terra*, 19 (4), 1-35. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/573/57319408.pdf>
- Tay, M. (2017). *Rendimiento de biogás y biofertilizante en la digestión anaerobia de estiércol de animales y rastrojos en Lambayeque*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo, Lambayeque, Perú.
- Ulloa, J. (2015). *Valoración de tres tipos de bioles en la producción de rábano (Raphanus sativus)*. (Tesis de maestría). Universidad de Piura, Piura, Perú.
- Varnero, M. (2011). *Manual de Biogás*. Italia. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>
- Vásquez, D. (2008). *Producción y Evaluación de cuatro tipos de bioabonos como alternativa biotecnológica de uso de residuos orgánicos para la fertilización de*

pastos. (Tesis de Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Viracucha, J. y Suquilanda, M. (2008). Evaluación de cuatro sustratos orgánicos para la producción de biogás y bioabono mediante un proceso de digestión anaerobia. Puerto Quito, Pichincha. Recuperado de <http://www.uce.edu.ec/200906170209111.pdf>

ANEXOS

ANEXO 1

Análisis Microbiológico: Determinación de bacterias coliformes totales, fecales y *Escherichia coli*. Técnica de diluciones en tubo múltiple - Número Más Probable, NMP (en Camacho et al., 2009)

1. Toma de muestra

- Se colectaron muestras de 100 mL de Biol, en frascos de vidrio limpio y previamente esterilizado. Inmediatamente se llevaron al laboratorio en un contenedor isoterma con hielo.

2. Prueba presuntiva

- Se realizaron diluciones consecutivas de la muestra hasta 10^{-5} en agua peptonada
- Se prepararon tres series de cinco tubos con 10 mL de caldo lauril sulfato de sodio
- Se transfirió 1 mL de volumen de las diluciones 10^{-3} 10^{-4} y 10^{-5} a cada uno de los tubos de la serie correspondiente, se agitaron los tubos para homogeneizar la muestra.
- Los tubos se incubaron a $35 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ y examinaron a las 24 h, para determinar la formación de gas (desplazamiento del medio en la campana de Durham). Si no se observó producción de gas, los tubos se incubaron por 24 h más.

3. Prueba confirmativa de microorganismos coliformes totales

- Se transfirieron dos asadas de cada tubo positivo obtenido durante la prueba presuntiva, a otro tubo de 16 x150 mm con 10 mL de caldo bilis verde brillante, con campana de Durham.
- Los tubos se agitaron para su homogeneización e incubaron a $35 \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 24 a 48 h.
- Se registraron como positivos aquellos tubos en donde se observó turbidez (crecimiento) y producción de gas después de un período de incubación de 24 a 48 h.

- Se determinaron los valores en la tabla de NMP para conocer el número más probable de organismos coliformes totales/100 mL.

4. Prueba confirmativa de microorganismos coliformes fecales

- Se transfirieron dos asadas de cada tubo positivo obtenido durante la prueba presuntiva (caldo lauril sulfato de sodio) a un tubo de 16 x 150 mm con 10 mL de caldo EC, conteniendo campana de Durham.
- Los tubos se agitaron para su homogeneización e incubaron a $44.5 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ por 24 a 48 h.
- Se registraron como positivos todos los tubos en donde se observó crecimiento y producción de gas después del período de incubación.
- Se determinaron los valores en la tabla de NMP para conocer el número más probable de organismos coliformes fecales/100 mL

5. Prueba confirmativa de *Escherichia coli*

- Se tomó una asada de cada uno de los tubos positivos en caldo EC y se sembró por agotamiento y estría en agar ENDO para su aislamiento.
- Las placas se incubaron invertidas a 35°C por 18 a 24 h.
- Se determinaron las diluciones con crecimiento en las placas para calcular el número más probable (NMP) de *E. coli*.
- Se seleccionaron dos colonias de cada placa con las siguientes características fenotípicas: Colonias rosa oscuro a rojizo con un brillo verde metálico.
- Se realizó la identificación bioquímica de *E. coli* mediante las pruebas de producción de indol, ácidos mixtos (Rojo de metilo) y metabolitos neutros (Voges - Proskauer) y utilización del citrato.

Análisis Microbiológico: Determinación de bacterias anaerobias mesófilas. Método de recuento en tubo por siembra en masa (según Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1998)

1. Toma de muestra

- Se colectaron muestras de 100 mL de Biol, en frascos de vidrio limpio y previamente esterilizado. Inmediatamente se llevaron al laboratorio en un contenedor isoterma con hielo.

2. Siembra

- Se realizaron diluciones decimales de la muestra hasta 10^{-5} .
- En tubos conteniendo agar triptonado T 65 fundido y temperado a 47°C , de cada dilución decimal, se pipetearon por duplicado volúmenes de 1 mL, introduciendo la pipeta hasta el fondo y dejando caer la muestra al retirar la pipeta con movimiento helicoidal ascendente.
- Los tubos se colocaron en un baño de agua fría para que el agar se solidifique rápidamente.
- La siembra se cubrió con una capa de vaselina líquida estéril de 1 cm de espesor e incubaron entre 30°C por 24 a 72 h

3. Recuento de colonias y cálculo de unidades formadoras de colonia (UFC)

- Los dos tubos de la dilución con 30 ± 10 colonias se seleccionaron para contabilizar y calcular el número de UFC de bacterias anaerobias por mL.
- El número (N) de unidades formadoras de colonias (UFC) por mL se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$N = n \times f$$

Donde:

n = media aritmética de las colonias contadas

f = factor de dilución (valor inverso de la dilución de la muestra)

- Los resultados se expresaron como número (N) de unidades formadoras de colonias (UFC) de bacterias anaerobias/mL de muestra.

Análisis Microbiológico: Detección de *Salmonella* spp. Método horizontal ISO 6579:2002 (en García et al., 2011)

1. Toma de muestra

- Se colectaron muestras de 100 mL de Biol, en frascos de vidrio limpio y previamente esterilizado. Inmediatamente se llevaron al laboratorio en un contenedor isoterma con hielo.

2. Pre enriquecimiento no selectivo

- Se realizó una dilución (1:10) de las muestras en agua peptonada y se incubaron a 37°C durante 18 horas.

3. Enriquecimiento selectivo

- Se transfirió 1 mL de la muestra pre-enriquecida a un tubo con 9 mL de medio Rappaport – Vassiliadis (RV) y se incubó a 41°C durante 24 a 48 horas.
- Una asada de los tubos se sembró por agotamiento y estría, en placas con medio Salmonella Shigella (SS), por duplicado.
- Las placas se incubaron a 37°C por 24 horas, observándose crecimiento de colonias incoloras con centro negro.
- Se reportó la presencia o ausencia de *Salmonella* spp. en 25 mL de muestra.

ANEXO 2

Cálculo del número más probable (NMP) para número de microorganismos totales y fecales

$$\text{NMP /100 mL} = (\text{Tabla NMP /100 mL}) \times 10/V$$

V = volumen de muestra de la dilución más baja seleccionada

Tabla NMP/100mL para series de diluciones en réplicas de cinco por nivel de dilución,
límite de confianza de 95%

Positive tubes	MPN/g ou ml	Confidence limits (95%)		Positive tubes	MPN/g ou ml	Confidence limits (95%)	
		Low	High			Low	High
0-0-0	<1.8	—	6.8	4-0-3	25	9.8	70
0-0-1	1.8	0.09	6.8	4-1-0	17	6	40
0-1-0	1.8	0.09	6.9	4-1-1	21	6.8	42
0-1-1	3.6	0.7	10	4-1-2	26	9.8	70
0-2-0	3.7	0.7	10	4-1-3	31	10	70
0-2-1	5.5	1.8	15	4-2-0	22	6.8	50
0-3-0	5.6	1.8	15	4-2-1	26	9.8	70
1-0-0	2	0.1	10	4-2-2	32	10	70
1-0-1	4	0.7	10	4-2-3	38	14	100
1-0-2	6	1.8	15	4-3-0	27	9.9	70
1-1-0	4	0.7	12	4-3-1	33	10	70
1-1-1	6.1	1.8	15	4-3-2	39	14	100
1-1-2	8.1	3.4	22	4-4-0	34	14	100
1-2-0	6.1	1.8	15	4-4-1	40	14	100
1-2-1	8.2	3.4	22	4-4-2	47	15	120
1-3-0	8.3	3.4	22	4-5-0	41	14	100
1-3-1	10	3.5	22	4-5-1	48	15	120
1-4-0	11	3.5	22	5-0-0	23	6.8	70
2-0-0	4.5	0.79	15	5-0-1	31	10	70
2-0-1	6.8	1.8	15	5-0-2	43	14	100
2-0-2	9.1	3.4	22	5-0-3	58	22	150
2-1-0	6.8	1.8	17	5-1-0	33	10	100
2-1-1	9.2	3.4	22	5-1-1	46	14	120
2-1-2	12	4.1	26	5-1-2	63	22	150
2-2-0	9.3	3.4	22	5-1-3	84	34	220
2-2-1	12	4.1	26	5-2-0	49	15	150
2-2-2	14	5.9	36	5-2-1	70	22	170
2-3-0	12	4.1	26	5-2-2	94	34	230
2-3-1	14	5.9	36	5-2-3	120	36	250
2-4-0	15	5.9	36	5-2-4	150	58	400
3-0-0	7.8	2.1	22	5-3-0	79	22	220
3-0-1	11	3.5	23	5-3-1	110	34	250
3-0-2	13	5.6	35	5-3-2	140	52	400
3-1-0	11	3.5	26	5-3-3	180	70	400
3-1-1	14	5.6	36	5-3-4	210	70	400
3-1-2	17	6	36	5-4-0	130	36	400
3-2-0	14	5.7	36	5-4-1	170	58	400
3-2-1	17	6.8	40	5-4-2	220	70	440
3-2-2	20	6.8	40	5-4-3	280	100	710
3-3-0	17	6.8	40	5-4-4	350	100	710
3-3-1	21	6.8	40	5-4-5	430	150	1,100
3-3-2	24	9.8	70	5-5-0	240	70	710
3-4-0	21	6.8	40	5-5-1	350	100	1,100
3-4-1	24	9.8	70	5-5-2	540	150	1,700
3-5-0	25	9.8	70	5-5-3	920	220	2,600
4-0-0	13	4.1	35	5-5-4	1,600	400	4,600
4-0-1	17	5.9	36	5-5-5	>1,600	700	—
4-0-2	21	6.8	40				

Source: *Bacteriological Analytical Manual* (Blodgett, 2010).

ANEXO 3

Cálculo de la cantidad de sustrato requerido para obtener mezclas con una relación C:N de 25:1 (Benavides y Plasencia, 2012)

Balance de materia C:N

$$\frac{C_1X_1 + C_2X_2}{N_1X_1 + N_2X_2} = 25$$

Dónde:

C₁: % de carbono en el estiércol

C₂: % de carbono en el rastrojo

N₁: % de nitrógeno en el estiércol

N₂: % de nitrógeno en el rastrojo

X₁: Cantidad de estiércol seco (Kg)

X₂: Cantidad de rastrojo seco (Kg)

10% de sólidos totales (Sistema discontinuo)

$$10\% = \frac{ST_1X_1 + ST_2X_2}{80\% \text{ (Volumen total)}}$$

Donde:

ST₁: % de sólidos totales del estiércol

ST₂: % de sólidos totales del rastrojo

**Cálculo de los componentes de mezcla estiércol de vacuno – rastrojo (C25:N1)
para 3,0 L de volumen total**

Estiércol de vacuno

Rastrojo

% de carbono : 39,49

% de carbono : 43,76

% de nitrógeno : 1,68

% de nitrógeno : 1,26

% de sólidos totales: 85,55

% de sólidos totales: 92,75

a. Balance de materia C:N

$$\frac{C_1X_1 + C_2X_2}{N_1X_1 + N_2X_2} = 25$$

$$\frac{39,49 X_1 + 43,76 X_2}{1,68 X_1 + 1,26 X_2} = 25$$

$$X_1 = 4,88446 X_2$$

b. 10% de sólidos totales

$$10\% = \frac{ST_1X_1 + ST_2X_2}{80\% (\text{Volumen total})}$$

$$10\% = \frac{85,55\% X_1 + 92,75\% X_2}{80\% (3,0)}$$

$$10\% = \frac{85,55\% (4,88446X_2) + 92,75\% X_2}{80\% (3,0)}$$

$$X_2 = 0,04700 \text{ kg} = 47,0 \text{ g de rastrojo}$$

c. Reemplazo de X_2 en ecuación (a)

$$X_1 = 4,88446 X_2$$

$$X_1 = 0,22958 = 229,58 \text{ g de estiércol}$$

Cálculo de los componentes de mezcla estiércol de cuy – rastrojo (C25:N1) para 3,0 L de volumen total

Estiércol de cuy	Rastrojo
% de carbono : 50,76	% de carbono : 43,76
% de nitrógeno : 2,19	% de nitrógeno : 1,26
% de sólidos totales: 90,34	% de sólidos totales: 92,75

a. Balance de materia C:N

$$\frac{C_1X_1 + C_2X_2}{N_1X_1 + N_2X_2} = 25$$

$$\frac{50,76 X_1 + 43,76 X_2}{2,19 X_1 + 1,26 X_2} = 25$$

$$X_1 = 3,07268 X_2$$

b. 10% de sólidos totales

$$10\% = \frac{ST_1X_1 + ST_2X_2}{80\% (\text{Volumen total})}$$

$$10\% = \frac{90,34\% X_1 + 92,75\% X_2}{80\% (3,0)}$$

$$10\% = \frac{90,34\% (3,07268 X_2) + 92,75\% X_2}{80\% (3,0)}$$

$$X_2 = 0,06481 \text{ kg} = 64,8 \text{ g de rastrojo}$$

c. Reemplazo de X_2 en ecuación (a)

$$X_1 = 3,07268 X_2$$

$$X_1 = 0,19914 = 119,14 \text{ g de estiércol}$$

**Cálculo de los componentes de mezcla estiércol de aves de engorde – rastrojo
(C25:N1) para 3,0 L de volumen total**

Estiércol de aves de engorde

Rastrojo

% de carbono : 44,82

% de carbono : 43,76

% de nitrógeno : 2,04

% de nitrógeno : 1,26

% de sólidos totales: 87,60

% de sólidos totales: 92,75

a. Balance de materia C:N

$$\frac{C_1X_1 + C_2X_2}{N_1X_1 + N_2X_2} = 25$$

$$\frac{44,82 X_1 + 43,76 X_2}{2,04 X_1 + 1,26 X_2} = 25$$

$$X_1 = 1,98382 X_2$$

b. 10% de sólidos totales

$$10\% = \frac{ST_1X_1 + ST_2X_2}{80\% (\text{Volumen total})}$$

$$10\% = \frac{87,60\% X_1 + 92,75\% X_2}{80\% (3,0)}$$

$$10\% = \frac{87,60\% (1,98382 X_2) + 92,75\% X_2}{80\% (3,0)}$$

$$X_2 = 0,09005 \text{ kg} = 90,0 \text{ g de rastrojo}$$

c. Reemplazo de X_2 en ecuación (a)

$$X_1 = 1,98382 X_2$$

$$X_1 = 0,17864 = 178,64 \text{ g de estiércol}$$

**Cálculo de los componentes de mezcla estiércol de porcino – rastrojo (C25:N1)
para 3,0 L de volumen total**

Estiércol de porcino

Rastrojo

% de carbono : 43,42

% de carbono : 43,76

% de nitrógeno : 1,93

% de nitrógeno : 1,26

% de sólidos totales: 88,48

% de sólidos totales: 92,75

a. Balance de materia C:N

$$\frac{C_1X_1 + C_2X_2}{N_1X_1 + N_2X_2} = 25$$

$$\frac{88,48 X_1 + 43,76 X_2}{1,93 X_1 + 1,26 X_2} = 25$$

$$X_1 = 2,53830 X_2$$

b. 10% de sólidos totales

$$10\% = \frac{ST_1X_1 + ST_2X_2}{80\% (\text{Volumen total})}$$

$$10\% = \frac{88,48\% X_1 + 92,75\% X_2}{80\% (3,0)}$$

$$10\% = \frac{88,48\% (2,53830 X_2) + 92,75\% X_2}{80\% (3,0)}$$

$$X_2 = 0,07563 \text{ kg} = 75,6 \text{ g de rastrojo}$$

c. Reemplazo de X_2 en ecuación (a)

$$X_1 = 2,53830 X_2$$

$$X_1 = 0,19197 = 191,97 \text{ g de estiércol}$$

ANEXO 4

Cálculo de volumen de agua requerido para obtener entre 8 – 10% de sólidos totales en cuatro mezclas de sustratos orgánicos (en Paredes, 2009)

Para obtener entre 8 – 10% de sólidos totales, primero se efectuó la mezcla de los sustratos calculados anteriormente y agregaron 400 mL de agua en la etapa aerobia en los biodigestores de 1,5 L del experimento piloto; se determinaron los sólidos totales mediante el método gravimétrico, después se calcularon los volúmenes de agua requerida para biodigestores de 1,5 L y 3,0 L.

Tratamientos	Peso total de mezcla (g)	Peso húmedo (P _A)	Peso seco (P _B)	Sólidos totales inicial (%)	Agua requerida para ST 8-10% (mL)	Sólidos totales final (%)
T ₁ : Estiércol de vacuno	498,28	28,47	5,63	19,77	445	9,32
T ₂ : Estiércol de cuy	491,95	27,53	4,12	14,96	871	8,14
T ₃ : Estiércol de ave de engorde	494,95	35,80	4,26	11,89	169	9,20
T ₄ : Estiércol de porcino	493,40	34,30	5,10	14,86	434	8,10

Ejemplo del primer tratamiento (estiércol de vacuno):

$$\%ST = \frac{P_B}{P_A} \times 100 = \frac{5,53}{28,47} \times 100 = 19,77\%$$

Volumen de agua adicional (X mL) en biodigestores de 1,5 L

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

$$(14,96\%) (498,28 + 400) = (10\%) (498,28 + 400 + X \text{ mL})$$

$$(14,96) (898,28) = (10\%) (898,28 + X)$$

$$134,38 = 89,82 + 0,10X$$

$$X = 445,54 \text{ mL de Agua}$$

Total de Agua agregada para la mezcla = 400 mL + 445,54 = 845 mL

Volumen de agua adicional (X L) para biodigestores de 3,0 L

$$X = 845 \text{ L} \times \frac{3 \text{ L}}{1,5 \text{ L}} = 1,69 \text{ L de Agua}$$

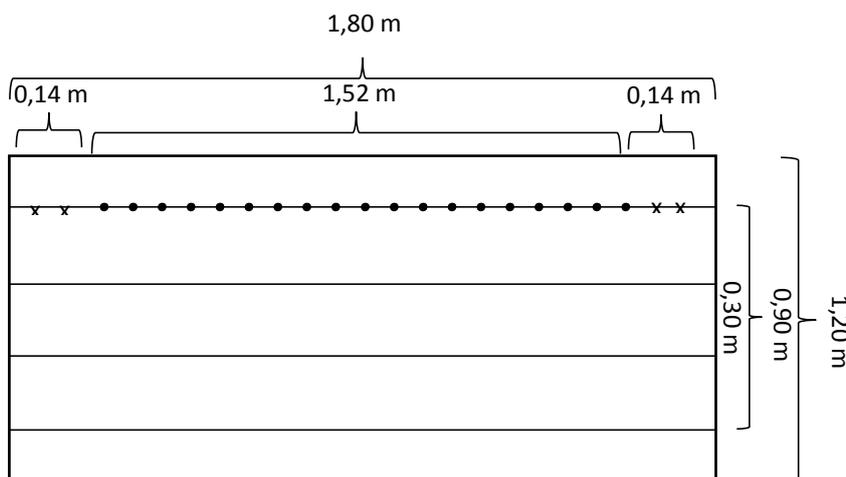
ANEXO 5

Cálculo del peso fresco de raíces de *Raphanus sativus* L. “rabanito”

Las parcelas experimentales tuvieron las siguientes dimensiones; 1,8 m de largo x 1,2 m de ancho, cada una con cuatro surcos o repeticiones con distanciamiento de 0,30 m entre ellos. La siembra se realizó por golpes con 0,072 m de distancia, totalizando 23 golpes.

Para la cosecha, se descartaron los cuatro golpes ubicados en los bordes (dos por extremo) por repetición, se seleccionaron aleatoriamente diez golpes intercalados por surco, totalizando 40 golpes por parcela o tratamiento. Una vez pesadas las raíces, se expresó el peso fresco promedio por m² (kgm⁻²) en cada tratamiento mediante regla de tres simple:

$$\begin{array}{l} \text{Peso fresco de raíces por parcela (kg)} \quad \text{-----} \quad \text{Área de cultivo (m}^2\text{)} \\ X \text{ (kg)} \quad \text{-----} \quad 1 \text{ m}^2 \end{array}$$

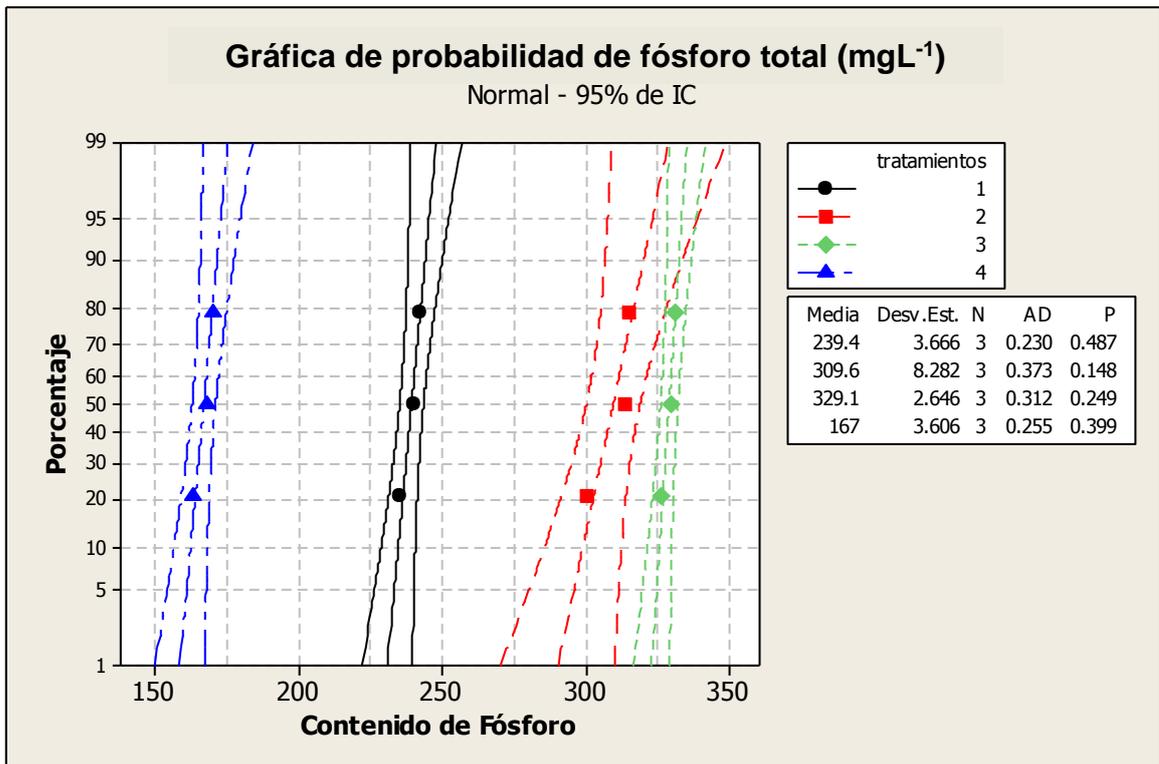
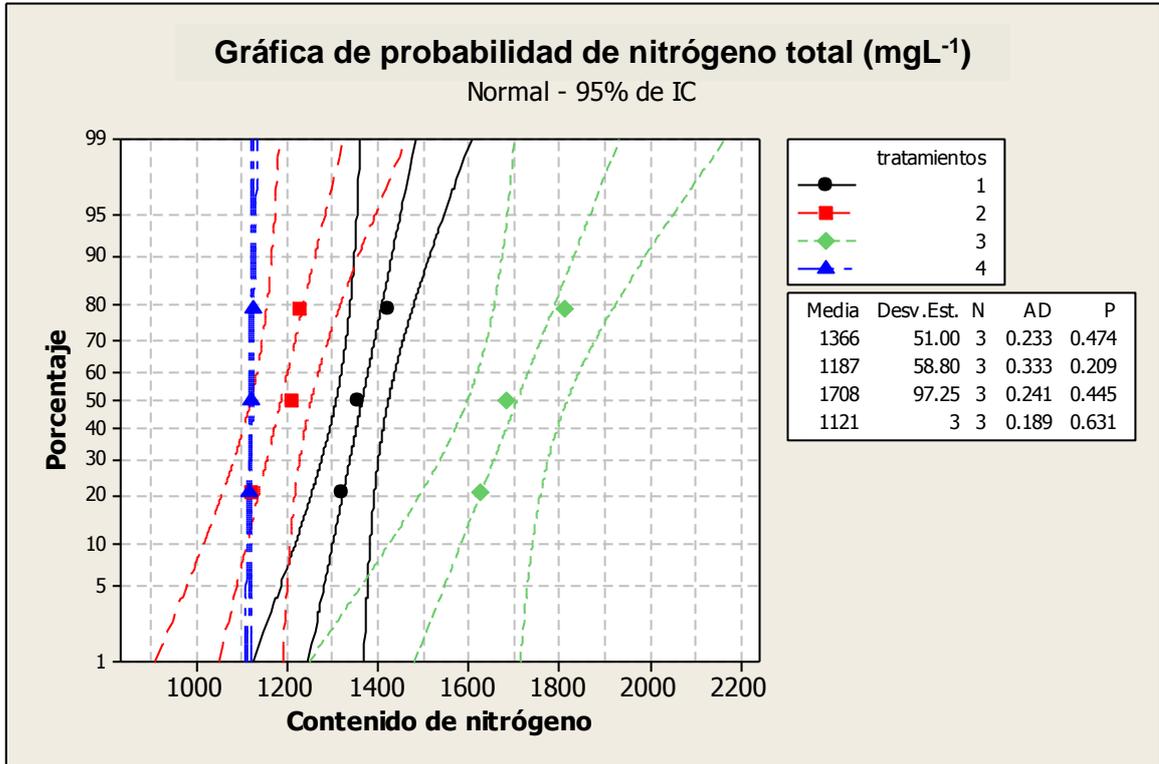


Área total de parcela:
 1,80 m x 1,20 m = 2,16 m²
 Área neta de cultivo:
 1,52 m x 0,90 m = 1,37 m²

- ✓ **T₂: Biol – cuy**
 24,67 g x 19 golpes x 4 repeticiones = 1874,92
 1874,92 g ----- 1,37 m² **X = 1,36 kg m⁻²**
 X g ----- 1 m²
- ✓ **T₃: Biol – aves de engorde**
 35,22 g x 19 golpes x 4 repeticiones = 2676,72
 2676,72 g ----- 1,37 m² **X = 1,95 kg m⁻²**
 X g ----- 1 m²
- ✓ **T₁: Testigo absoluto**
 15,06 g x 19 golpes x 4 repeticiones = 1144,56
 1144,56 g ----- 1,37 m² **X = 0,83 kg m⁻²**
 X g ----- 1 m²

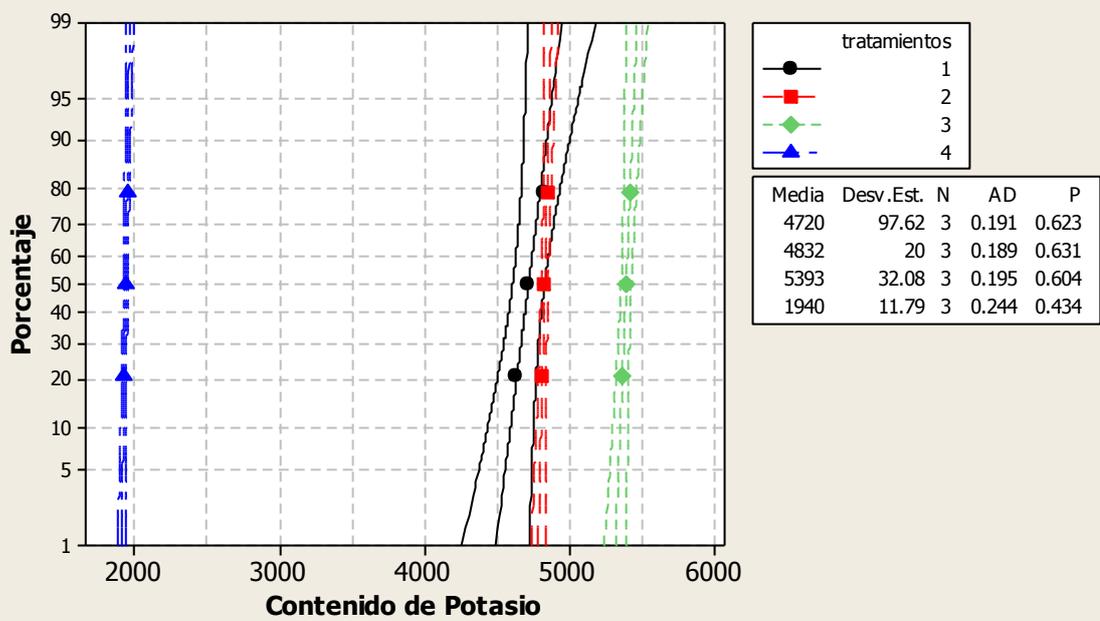
ANEXO 6

Prueba de normalidad para el nitrógeno total, fósforo total y potasio total (NPK) de los Bioles obtenidos por digestión anaerobia de cuatro mezclas de estiércoles de animales y rastrojo, Lambayeque, 2018



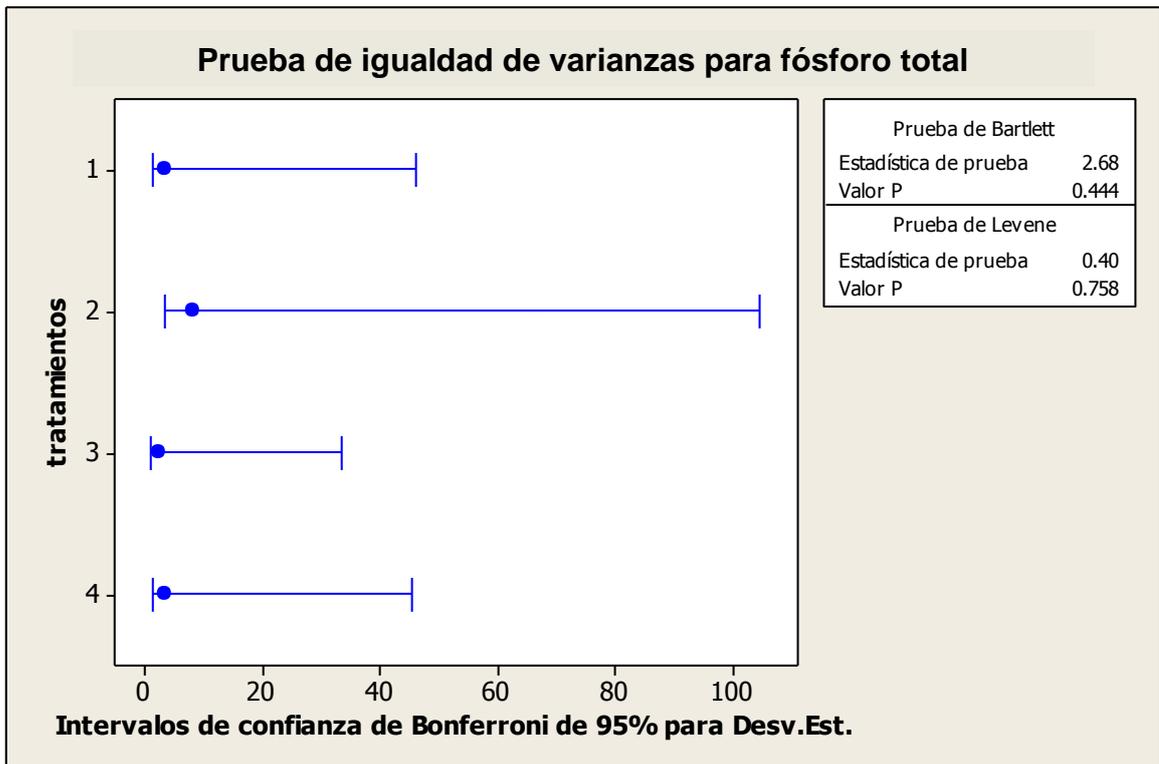
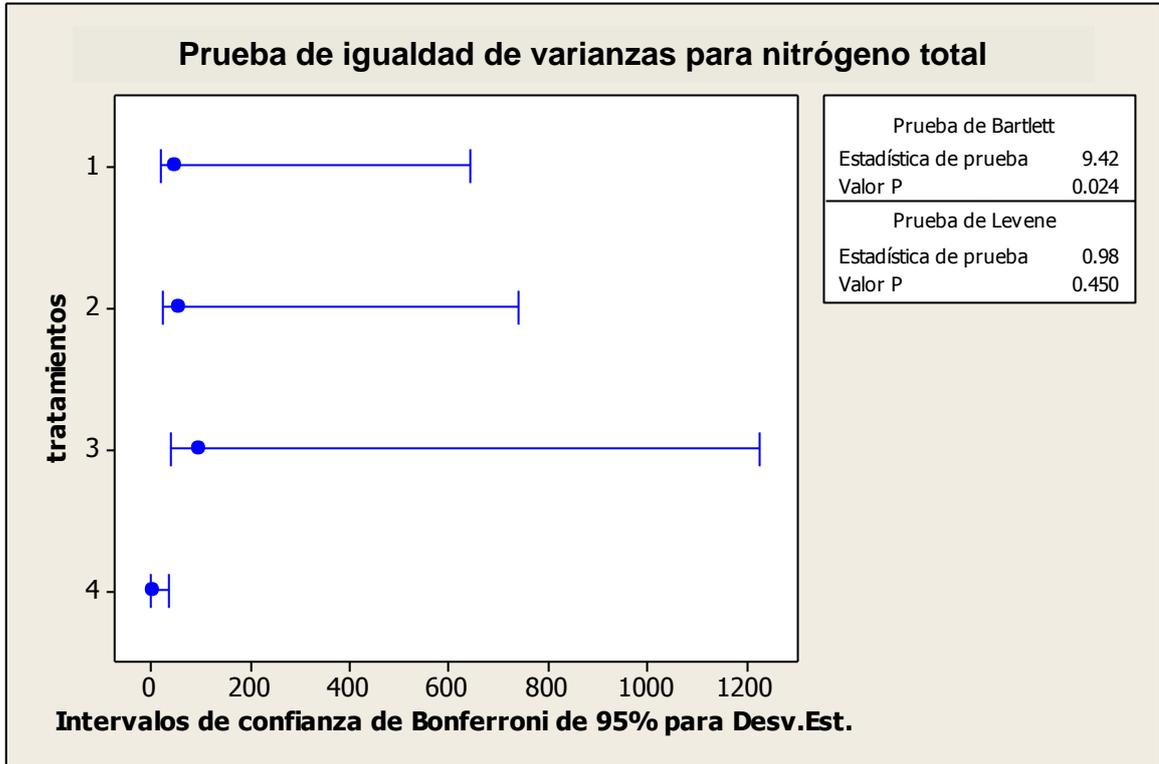
Gráfica de probabilidad de potasio total (mgL⁻¹)

Normal - 95% de IC

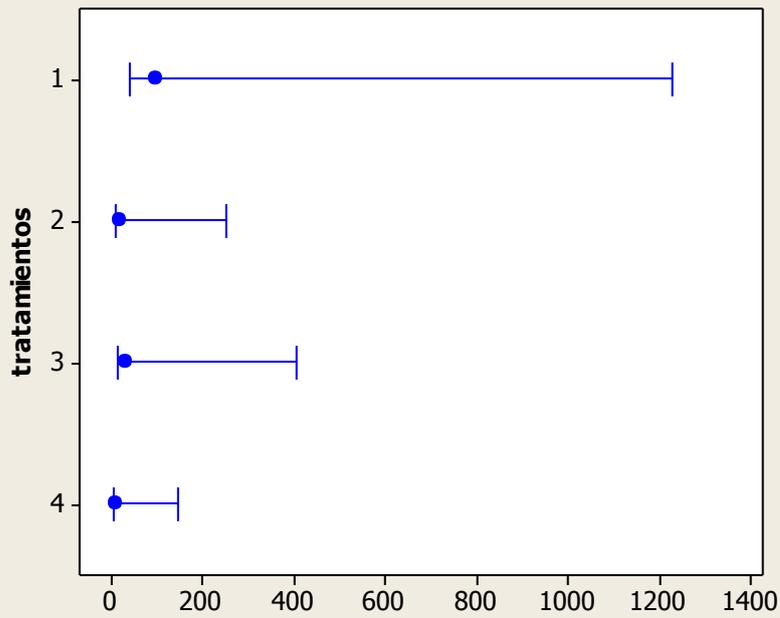


ANEXO 7

Prueba de homogeneidad de varianzas para el nitrógeno total, fósforo total y potasio total (NPK) de los Bioles obtenidos por digestión anaerobia de cuatro mezclas de estiércoles de animales y rastrojo en Lambayeque, 2018



Prueba de igualdad de varianzas para potasio total



Prueba de Bartlett	
Estadística de prueba	7.76
Valor P	0.051

Prueba de Levene	
Estadística de prueba	2.16
Valor P	0.170

Intervalos de confianza de Bonferroni de 95% para Desv.Est.

ANEXO 8

Análisis de varianza del nitrógeno total (mgL⁻¹) del Biol obtenido por digestión anaerobia de cuatro mezclas de estiércoles de animales y rastrojo, Lambayeque 2018

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$

H_a = Al menos una media es diferente

Fuente de variación	GL	CM	Fc	p	Sign	Decisión
Tratamientos	3	207275,710	53,408	0,000	**	Rechaza H ₀
Error	8	3880,980				
Total	11					

Análisis de varianza del fósforo total (mgL⁻¹) del Biol obtenido por digestión anaerobia de cuatro mezclas de estiércoles de animales y rastrojo, Lambayeque, 2018

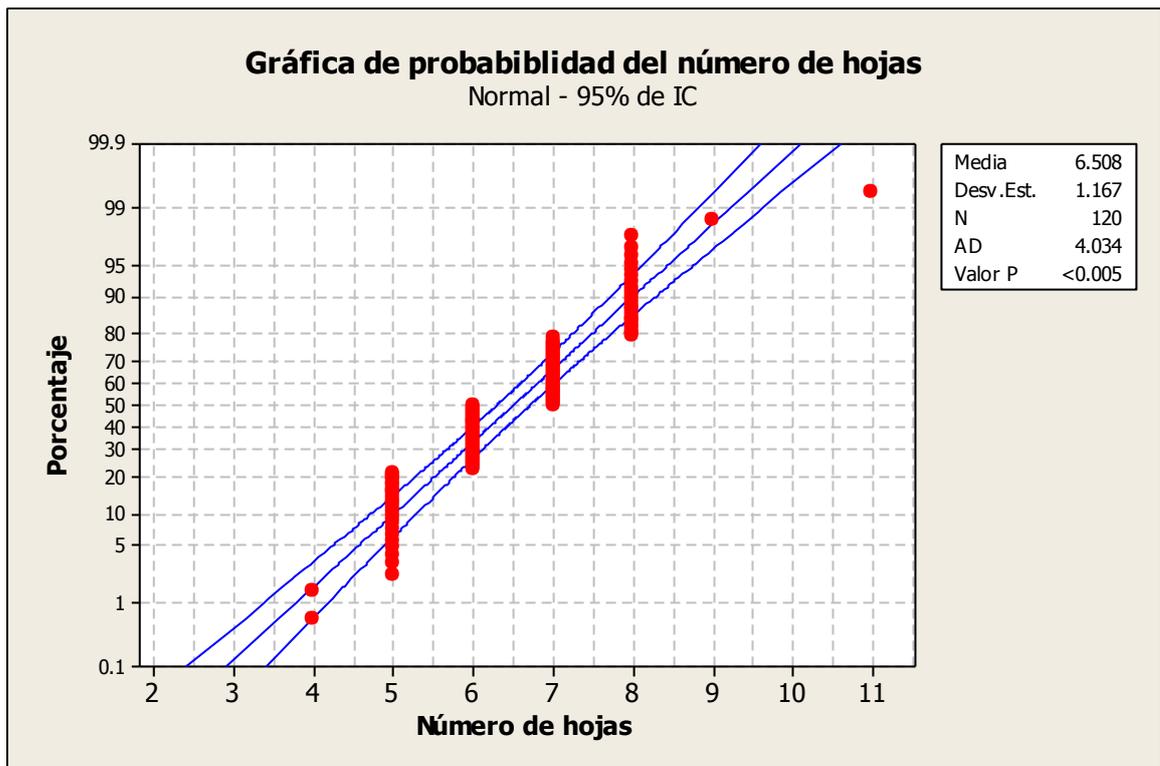
Fuente de variación	GL	CM	Fc	p	Sign	Decisión
Tratamientos	3	16301,828	639,099	0,000	**	Rechaza H ₀
Error	8	25,507				
Total	11					

Análisis de varianza del potasio total (mgL^{-1}) del Biol obtenido por digestión anaerobia de cuatro mezclas de estiércoles de animales y rastrojo, Lambayeque 2018

Fuente de variación	GL	CM	Fc	p	Sign	Decisión
Tratamientos	3	7200047,053	2595,032	0,000	**	Rechaza H_0
Error	8	2774,551				
Total	11					

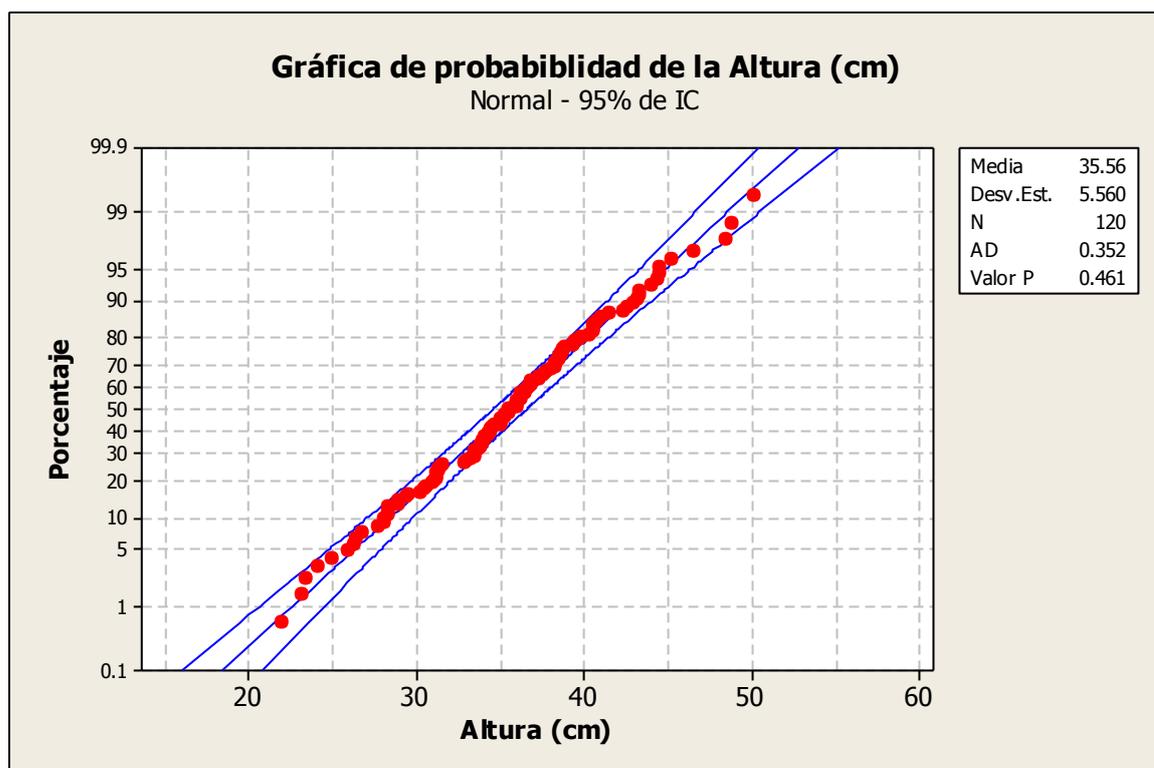
ANEXO 9

Prueba de normalidad para el número de hojas de *Raphanus sativus* L. “rabanito”
por efecto de dos Bioles seleccionados y testigo absoluto, Lambayeque 2018



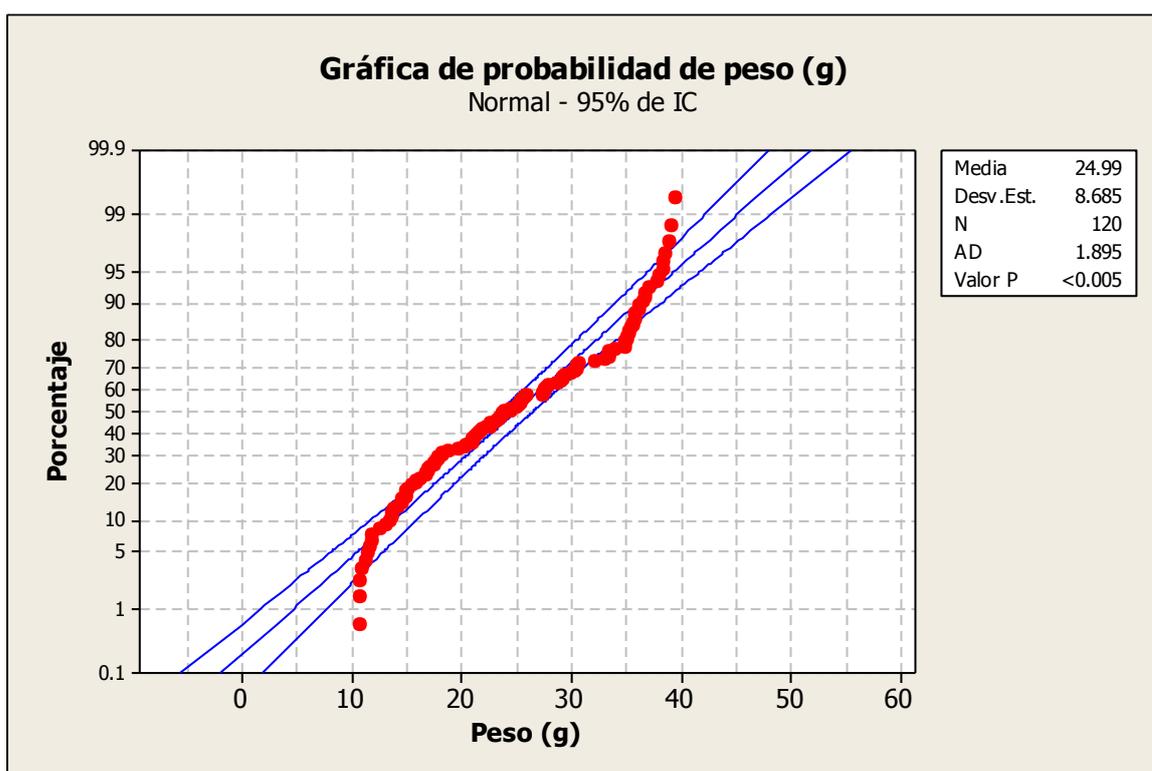
ANEXO 10

Prueba de normalidad para la altura de planta de *Raphanus sativus* L. "rabanito" por efecto de dos Bioles seleccionados y testigo absoluto, Lambayeque 2018



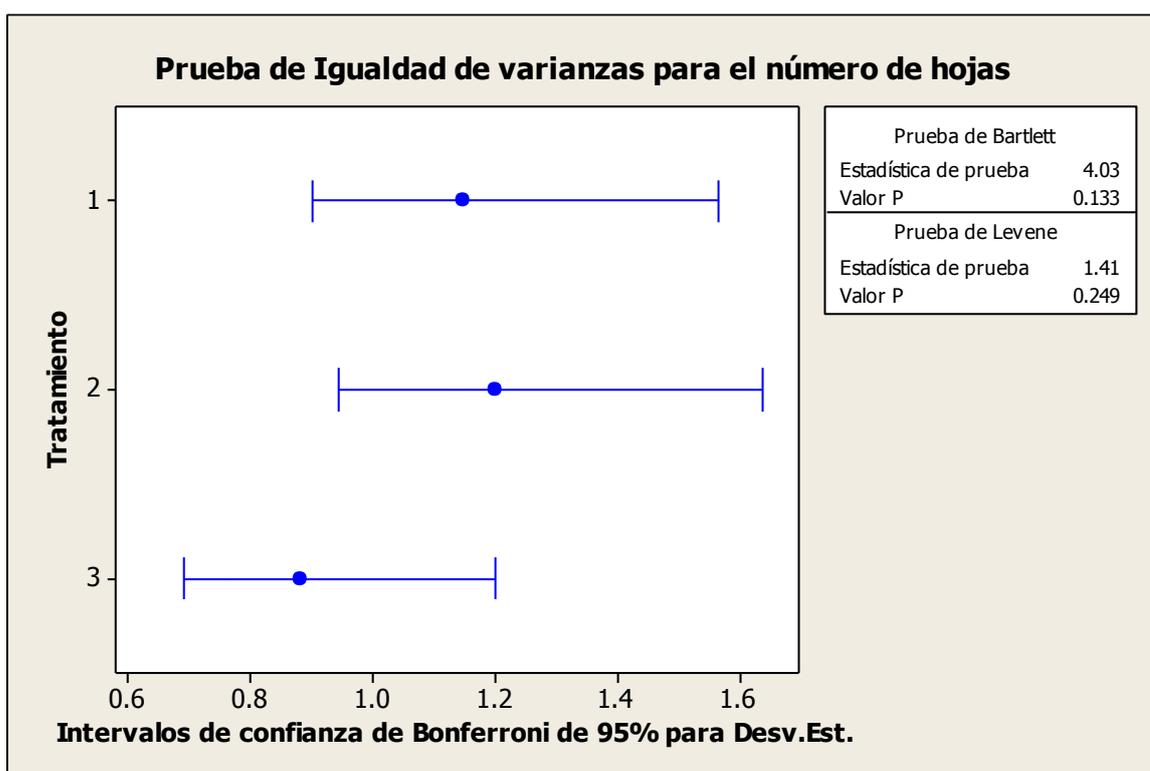
ANEXO 11

Prueba de normalidad para el peso fresco de raíces de *Raphanus sativus* L. “rabanito” por efecto de dos Bioles seleccionados y testigo absoluto, Lambayeque 2018



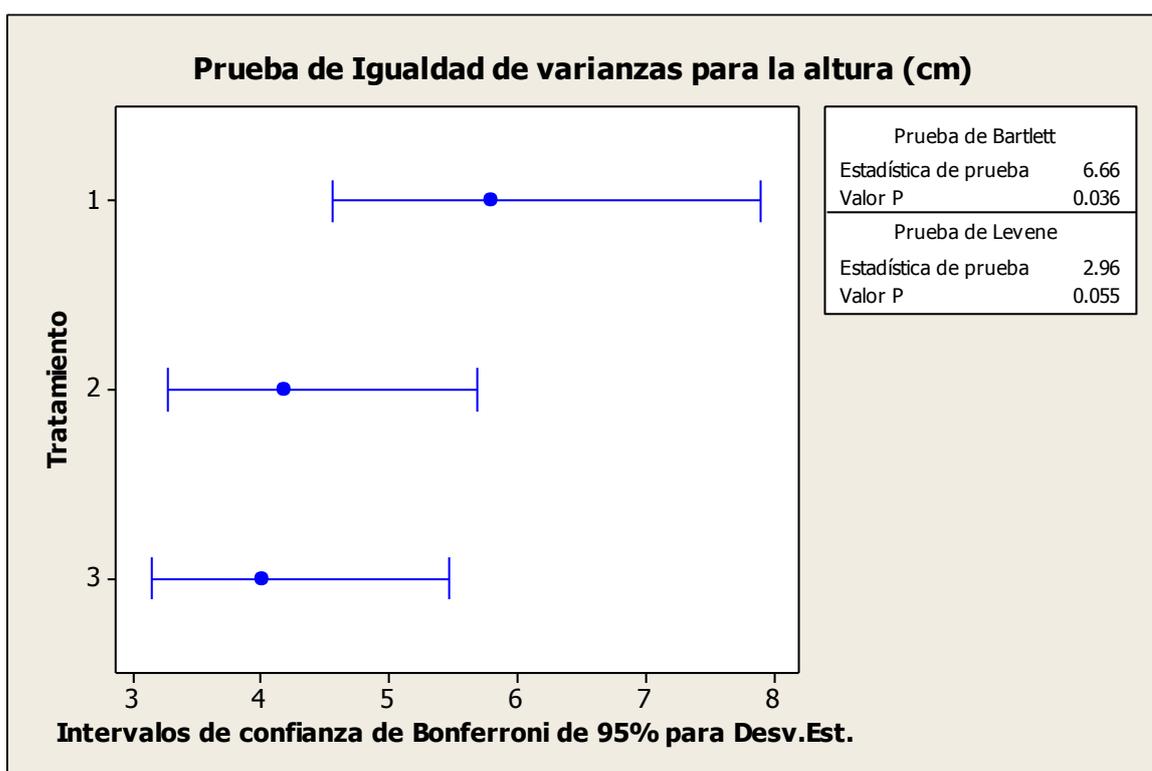
ANEXO 12

Prueba de homogeneidad de varianzas para el número de hojas de *Raphanus sativus* L. “rabanito” por efecto de dos Bioles seleccionados y testigo absoluto, Lambayeque 2018



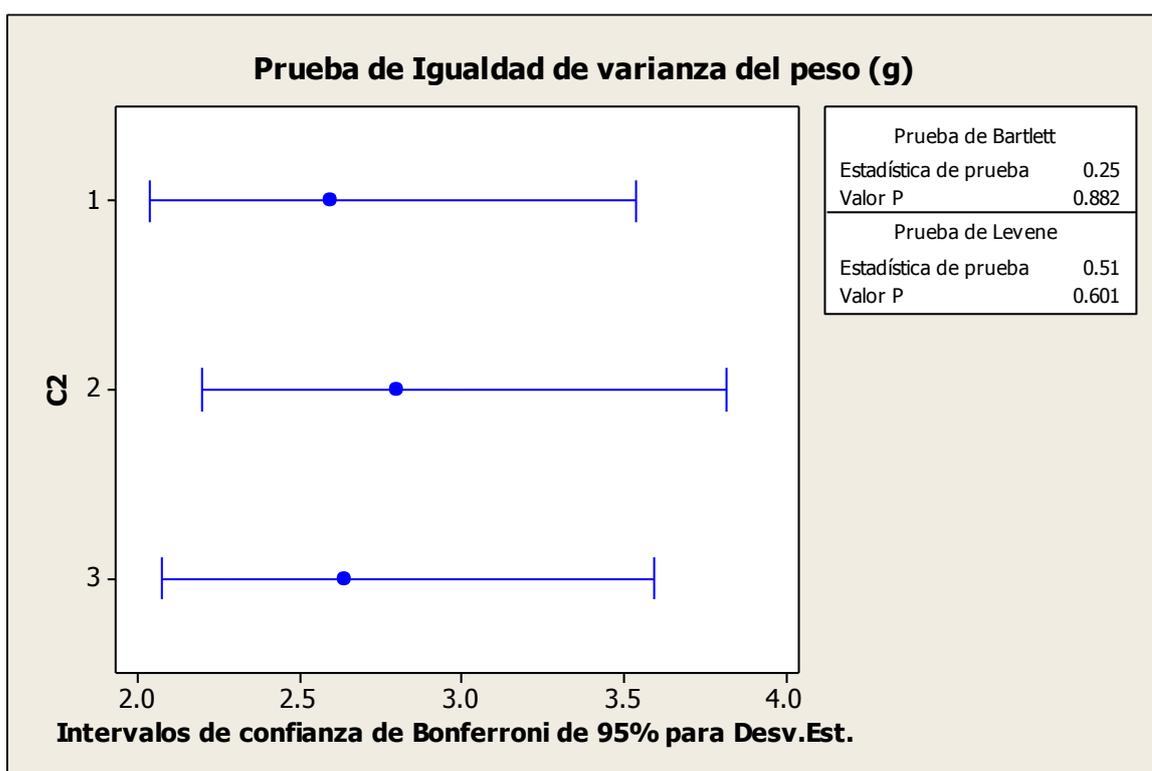
ANEXO 13

Prueba de homogeneidad de varianzas para la altura de la planta de *Raphanus sativus* L. "rabanito" por efecto de dos Bioles seleccionados y testigo absoluto, Lambayeque 2018



ANEXO 14

Prueba de homogeneidad de varianzas para el peso de raíces de *Raphanus sativus* L. "rabanito" por efecto de dos Bioles seleccionados y testigo absoluto, Lambayeque 2018



ANEXO 15

Análisis de varianza del número de hojas de *Raphanus sativus* L. “rabanito” por efecto de dos Bioles seleccionados y testigo absoluto, Lambayeque 2018

Fuente de variación	GL	CM	Fc	p	Sign	Decisión
Tratamientos	2	11,808	9,984	0,000	**	Rechaza H ₀
Error	117	1,183				
Total	119					

Análisis de varianza de la altura de la planta (cm) de *Raphanus sativus* L. “rabanito” por efecto de dos Bioles seleccionados y testigo absoluto, Lambayeque 2018

Fuente de variación	GL	CM	Fc	p	Sign	Decisión
Tratamientos	2	453,535	19,552	0,000	**	Rechaza H ₀
Error	117	23,196				
Total	119					

Análisis de varianza del peso fresco de raíces (g) de *Raphanus sativus* L. “rabanito” por efecto de dos Bioles seleccionados y testigo absoluto Lambayeque 2018

Fuente de variación	GL	CM	Fc	p	Sign	Decisión
Tratamientos	2	4067,080	564,962	0,000	**	Rechaza H ₀
Error	117	7,199				
Total	119					