



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

ESCUELA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

**Evaluación de los procesos de fermentación en la producción de
biofertilizante, mediante el uso de mini-biodigestores en Íntag, cantón
Cotacachi, provincia de Imbabura**

Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero Agroindustrial

Autores

Silvia Cecilia Quilumbango Flores

Luis Elías Robalino Fernández

Director

Ing. Jorge Granja Ruales

Ibarra – Ecuador

Diciembre, 2012

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

ESCUELA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

**Evaluación de los procesos de fermentación en la producción de
biofertilizante, mediante el uso de mini-biodigestores en Íntag, cantón
Cotacachi, provincia de Imbabura**

TESIS DE GRADO

Revisada por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación como
requisito parcial para obtener el título de:

Ingeniero Agroindustrial

APROBADA:

Ing. Jorge Granja – **Director de Tesis** _____

MIEMBROS TRIBUNAL

Ing. Gladys Yaguana _____

Ing. Marcelo Vacas _____

Dr. Bolívar Batallas _____

Ibarra - Ecuador

2012

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100186754-6		
APELLIDOS Y NOMBRES:	QUILUMBANGO FLORES SILVIA CECILIA		
DIRECCIÓN:	Vía a Cuellaje – Parroquia de Peñaherrera		
EMAIL:	squilumbango@yahoo.com		
TELÉFONO FIJO:	06 3016231	TELÉFONO MÓVIL:	0989739562

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Evaluación de los procesos de fermentación en la producción de biofertilizante, mediante el uso de mini-biodigestores en Íntag, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura
AUTOR (ES):	Quilumbango Flores Silvia Cecilia Robalino Fernández Luis Elías
FECHA:	2012/10/23
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Agroindustrial
DIRECTOR:	Ing. Jorge Granja

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Quilumbango Flores Silvia Cecilia, con cédula de identidad Nro.100186754-6, en calidad de coautor (es) y titular (es) de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 143.

3. CONSTANCIAS

El coautor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, al viernes 07 de diciembre del 2012

EL AUTOR:

ACEPTACIÓN:

.....
Quilumbango Flores Silvia Cecilia
C.C.: 100186754-6
UNIVERSITARIA

.....
Ing. Bethy Chávez
JEFA DE BIBLIOTECA

Facultado por resolución de Consejo Universitario _____

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100175859-6		
APELLIDOS Y NOMBRES:	ROBALINO FERNÁNDEZ LUIS ELÍAS		
DIRECCIÓN:	Barrio Zagalapamba – Parroquia Peñaherrera		
EMAIL:	mashyluis@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:	06 3016232	TELÉFONO MÓVIL:	0989908668

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Evaluación de los procesos de fermentación en la producción de biofertilizante, mediante el uso de mini-biodigestores en Íntag, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura
AUTOR (ES):	Silvia Cecilia Quilumbango Flores Luis Elías Robalino Fernández
FECHA:	2012/10/23
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Agroindustrial
DIRECTOR:	Ing. Jorge Granja Ruales

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Robalino Fernández Luis Elías, con cédula de identidad Nro.100175859-6, en calidad de coautor (es) y titular (es) de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 143.

3. CONSTANCIAS

El coautor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, al viernes 07 de diciembre del 2012

EL AUTOR:

.....
Robalino Fernández Luis Elías
C.C.: 100175859-6
UNIVERSITARIA

ACEPTACIÓN:

.....
Ing. Bethy Chávez
JEFA DE BIBLIOTECA

Facultado por resolución de Consejo Universitario _____

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Quilumbango Flores Silvia Cecilia, con cédula de identidad Nro. 100186754-6, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor (es) de la obra o trabajo de grado denominado: **“Evaluación de los procesos de fermentación en la producción de biofertilizante, mediante el uso de mini-biodigestores en Íntag, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura”**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: **Ingeniera Agroindustrial**, en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

.....
Quilumbango Flores Silvia Cecilia
Cédula: 100186754-6

Ibarra, al viernes 07 de diciembre del 2012

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Robalino Fernández Luis Elías, con cédula de identidad Nro. 100175859-6, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor (es) de la obra o trabajo de grado denominado: **“Evaluación de los procesos de fermentación en la producción de biofertilizante, mediante el uso de mini-biodigestores en Íntag, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura”**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: **Ingeniero Agroindustrial**, en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

.....
Robalino Fernández Luis Elías
Cédula: 100175859-6

Ibarra, al viernes 07 de diciembre del 2012

Guía: FICAYA-UTN
Fecha: 07 de Diciembre de 2012

Silvia Cecilia Quilumbango Flores, Luis Elías Robalino Fernández,
Evaluación de los procesos de fermentación en la producción de biofertilizante, mediante el uso de mini – biodigestores, en Íntag, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura/TRABAJO DE GRADO. Ingeniería Agroindustrial. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agroindustrial. Ibarra. EC. Diciembre 2012. 102 p. anex.

DIRECTOR: *Ing. Jorge Granja Ruales.*

Estudio comparativo de los procesos de fermentación anaeróbica con agua y excretas de chanco (t1), cuy (t2) y mezcla (t3), monitoreando el comportamiento de la DQO, temperatura y pH en los mini.biodigestores; el contenido de N, P, K y coliformes fecales en materia fresca y biofertilizante líquido y; el tiempo de retención cuyas variables permitieron la determinación de la calidad del biofertilizante a partir de diferentes tipos de biomasa fermentadas

07 de Diciembre de 2012

Ing. Jorge Granja Ruales
DIRECTOR

Quilumbango Flores Silvia Cecilia
AUTORA

Robalino Fernández Luis Elías
AUTOR

PRÓLOGO

El presente trabajo de investigación titulado **“Evaluación de los procesos de fermentación en la producción de biofertilizante, mediante el uso de mini-biodigestores en Íntag, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura”** pone a disposición de las/os lectoras/es el estudio comparativo de los procesos de fermentación anaeróbica de sustrato líquido constituido por agua y excretas de chanco (t1), cuy (t2) y mezcla en iguales proporciones (t3), monitoreando específicamente el comportamiento de la Demanda Química de Oxígeno DQO, temperatura y pH en los nueve mini-biodigestores (tres repeticiones por tratamiento); el contenido de Nitrógeno N, Fósforo P, Potasio K y coliformes fecales tanto en la materia fresca como en el biofertilizante líquido y; el tiempo de retención; cuyas variables en su conjunto permitieron la determinación de la calidad del biofertilizante líquido obtenido a partir de cada una de las excretas o tipos de biomasa fermentadas.

AUTORES:

SILVIA CECILIA QUILUMBANGO FLORES
LUIS ELÍAS ROBALINO FERNÁNDEZ

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a Dios, el ser supremo de mi vida y a la Virgen de El Quinche.

A mis queridos padres Julio y María, que no se encuentran conmigo pero que desde el cielo me bendicen y me guían para seguir adelante y poder culminar mis estudios.

A mis queridos hijos Renzo Ermel, Benjamín Emanuel y Nayana Virginia, quienes me han apoyado con su comprensión por el tiempo que no pude compartir con ellos al haber tenido que priorizar el trabajo de grado en esta etapa de mi vida.

A la Familia Robalino Fernández y Robalino Andrango por su apoyo desmedido y su ayuda incondicional para la finalización de mi carrera.

Silvia Cecilia

DEDICATORIA

Primeramente a Dios, creador y arquitecto del Mundo, a su Hijo Jesús y a su Madre María, por darme la vida y salud.

A Rubén Robalino Rojas, Padre ejemplar que me guía y acompaña desde el Cielo, a María Fernández Cabascango, mi Madre por su interminable cariño a nosotros sus hijos e hijas.

A mi hermano Miguel y a mi hermana política Rosita (mis segundos padres) por su generoso e incondicional apoyo y a María Fernanda, Miguel Jr. y Omar, mis sobrinos, por su cariño.

A Rubén, José, Isabel, Hugo y Flora por su apoyo y hermosa hermandad. A sus hijos e hijas, por su ternura y sus ocurrencias de sobrinos.

A Sonia Córdova, mi compañera de vida y Madre de mis hijos. A ellos, Marcos Mateo, Donato Josué y Sarita Daniela, por su inspiración y aliento para avanzar un paso más en la permanente “profesión de estudiante”.

Y a las compañeras agricultoras y agricultores de la Asociación de Campesinos Agroecológicos y de otras organizaciones de Íntag por su ejemplo e incansable trabajo en la revaloración de la agricultura familiar y dignificación de la vida campesina.

Luis Elías

AGRADECIMIENTO

Nuestro sincero agradecimiento a todos nuestros familiares y a todas las personas que colaboraron para la culminación de nuestro trabajo de Tesis de Grado.

A la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte, Escuela de Ingeniería Agroindustrial, a todos y cada uno de las/os profesores y personal administrativo de nuestra noble institución.

A nuestro Director de Tesis el Ing. Jorge Granja, a la Ing. Gladys Yaguana, Ing. Marcelo Vacas y Dr. Bolívar Batallas por su valiosa ayuda y aporte.

A la Asociación de Campesinos Agroecológicos, DECOIN y otras organizaciones de Íntag, por su ayuda incondicional a nuestro proyecto.

SILVIA CECILIA Y LUIS ELÍAS

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDOS

PORTADA

APROBACIÓN DEL DIRECTOR

PRESENTACIÓN.....x

DEDICATORIA.....xi

AGRADECIMIENTO.....xiii

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 Problema.....1

1.2 Justificación.....5

1.3 Objetivos.....9

1.3.1 Objetivo General.....9

1.3.2 Objetivos específicos.....9

1.4 Hipótesis.....10

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 Información General de la Temática.....11

2.2 Información específica.....18

2.2.1 Fermentación anaeróbica.....18

2.2.2 Biofertilizante.....24

2.2.3 Demanda Química de Oxígeno DQO.....28

2.2.4 Temperatura.....30

2.2.5 pH.....32

2.2.6	Macroelementos (N, P, K).....	32
2.2.7	Conteo de coliformes.....	33
2.2.8	Tiempo de retención.....	34

CAPITULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS

3.1	Materiales e Insumos.....	36
3.1.1	Materiales.....	36
3.1.2	Equipos y/o instrumentos usados en campo.....	36
3.1.3	Laboratorio.....	37
3.1.4	Insumos.....	39
3.2	Caracterización del área de estudio.....	39
3.2.1	Ubicación.....	43
3.2.2	Materiales para los biodigestores.....	45
3.3	Métodos.....	46
3.3.1	Factores en estudio.....	46
3.3.2	Tratamientos.....	46
3.3.3	Diseño experimental.....	47
3.3.4	Características del experimento.....	49
3.3.5	Análisis estadístico.....	50
3.3.6	Variables a evaluarse.....	50
3.4	Manejo específico del experimento.....	51
3.4.1	Construcción de biodigestores.....	51
3.4.2	Colección y acondicionamiento de la materia orgánica.....	53
3.4.3	Instalación del ensayo.....	54

3.4.4	Toma de muestras.....	55
3.4.5	Análisis de laboratorio.....	57
3.4.6	Costos del experimento y del biofertilizante.....	61

CAPITULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Demanda Química de oxígeno (DQO).....	62
4.2	Temperatura.....	67
4.3	Variación del pH.....	70
4.4	Macroelementos (N,P, K).....	72
4.4.1	Nitrógeno.....	73
4.4.2	Fósforo.....	75
4.4.3	Potasio.....	77
4.5	Conteo de coliformes.....	79
4.6	Cantidad de biofertilizante.....	82
4.7	Tiempo de retención.....	83
4.8	Calidad de los biofertilizantes.....	84

CONCLUSIONES	87
---------------------------	----

RECOMENDACIONES	90
------------------------------	----

RESUMEN.....	92
--------------	----

SUMARY.....	94
-------------	----

BIBLIOGRAFIA.....	96
-------------------	----

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS, GRÁFICOS, FOTOGRAFÍAS Y ANEXOS

CUADROS

Cuadro 1	Tipo de microorganismos, rangos de temperatura y duración de la fermentación anaeróbica.....	31
Cuadro 2	Contenido de nutrientes en el efluente de biodigestores plásticos.	33
Cuadro 3	Esquema del ADEVA.....	50
Cuadro 4	Cronograma de muestreo.....	55
Cuadro 5	Resumen de resultados de las variables por cada tratamiento.....	85

FIGURAS

Figura 1	Diagrama general de los biodigestores instalados en Intag.....	5
Figura 2	Flujograma de las fases de la fermentación anaeróbica.....	21
Figura 3	Mapa de localización del estudio.....	43
Figura 4	Esquema del biodigestor construido.....	51

GRÁFICOS

Gráfico 1	Comportamiento de la DQO en los tres tratamientos.....	62
Gráfico 2	Comportamiento de la temperatura en los tres tratamientos.....	67
Gráfico 3	Comportamiento del pH en los tres tratamientos.....	70
Gráfico 4	Comportamiento contenido de Nitrógeno en los tres tratamientos	73
Gráfico 5	Comportamiento contenido de Fósforo en los tres tratamientos...	75
Gráfico 6	Comportamiento contenido de Potasio en los tres tratamientos.....	77
Gráfico 7	Comportamiento contenido coliformes en los tres tratamientos...	79

Gráfico 8	Rendimiento en peso del biofertilizante en los tres tratamientos...	82
-----------	---	----

FOTOGRAFÍAS

Foto 1	Vista de la cabecera parroquial de Peñaherrera y ubicación del ensayo.....	44
Foto 2	Vista general del ensayo.....	44
Foto 3	Materiales y/o accesorios básicos.....	45
Foto 4	Vista de los biodigestores terminados.....	52
Foto 5	Vista de los biodigestores terminados.....	52
Foto 6	Biogás quemando en uno de los biodigestores.....	61

ANEXOS

Anexo 1	Cuadro de datos, ADEVA y comparaciones.....	102
Anexo 2	Costos de Producción.....	111
Anexo 3	Resultados de Análisis de Laboratorio.....	113
Anexo 4	Fotografías complementarias del Experimento.....	125
Anexo 5	Registro de Temperatura Ambiente.....	138
Anexo 7	Cronograma de Realización de la Tesis.....	140
Anexo 8	Costos de Producción del Biofertilizante.....	142

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Problema

En el contexto mundial y nacional, durante las últimas décadas, la generación de residuos sólidos, líquidos y gaseosos se ha convertido en un problema de difícil solución para los gobiernos y sector empresarial; de manera particular en las ramas agropecuaria, agroindustrial e industrial. También localmente, la generación de distintos tipos de residuos se ha convertido en un problema que hasta hace 2 décadas no ocasionaba mayor preocupación a los gobiernos seccionales ni a las poblaciones.

En general, los desechos o residuos, se clasifican en orgánicos e inorgánicos y según Días y Kreling (2006, p. 1), la mayor parte son orgánicos y representan hasta un 60% de los residuos domésticos. Lamentablemente la situación está marcada por una tendencia de no dar un tratamiento adecuado ni hacia la búsqueda de un mejor uso de los residuos.

La variedad de residuos orgánicos es amplia, dentro de los cuales están las excretas de animales y de humanos, predominantemente. Las excretas de animales son abandonadas y desperdiciadas. En el país las experiencias sobre el manejo de las excretas animales son muy pocas, especialmente en la producción de biofertilizantes para uso en la actividad agrícola.

Por otra parte, la erosión de los suelos es un problema muy generalizado, que se caracteriza por la pérdida de fertilidad que afecta a la productividad y producción de los cultivos, convirtiéndose en un problema complejo. Paradójicamente, algunos esfuerzos por contrarrestar la pérdida de fertilidad en vez de contribuir a solucionar lo han agravado aún más: con la intención de fertilizar el suelo, los agricultores se han visto obligados a aplicar una gama de fertilizantes químicos sintéticos, los cuales han afectado y desequilibrado el contenido de nutrientes y minerales del suelo, empobreciéndolo aún más y haciendo que se requiera cada vez mayores cantidades de estos u otros fertilizantes químicos.

El desequilibrio de minerales y nutrientes del suelo, muy poco reconocido por agricultores y empresarios, a su vez ha desequilibrado y debilitado a las plantas cultivadas haciéndolas más susceptibles al ataque de plagas y enfermedades, incidiendo directamente en la disminución de la producción y productividad agropecuaria y agroindustrial.

Varios autores coinciden y puntualizan que el uso de fertilizantes sintéticos (agroquímicos) para aumentar la producción y el rendimiento de diferentes cultivos, afecta de manera directa a la población humana en general (productores y consumidores), y representan una amenaza para la salud humana, contaminación del agua, suelo y aire (Colque et al, 2005, p 1).

En los sectores rurales, la crianza o manejo de animales menores, sea dirigida al autoconsumo o comercial, genera residuos que son frecuentemente inutilizados y, provocan ciertos niveles de contaminación ambiental e insalubridad alrededor de las viviendas y por ende al entorno comunitario.

A nivel local, el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Peñaherrera PDOT (2011, p. 40), identifica que el problema de mayor prioridad constituye la baja productividad y rentabilidad agropecuaria. En varios cultivos, principalmente: 0,76 TM/ha de fréjol, 2,7 TM/ha de maíz, 4,5 TM/ha de tomate de árbol o naranjilla, 0,45 TM/ha de café, 5lt/animal de leche, se evidencia la problemática indicada, puntualizando como principales causas a los cambios del clima, la pérdida de la fertilidad natural del suelo por la alta erosión en pendientes pronunciadas y la persistencia de prácticas de cultivo no sostenibles.

Frente a esta compleja situación, característica de la denominada revolución verde o agricultura convencional, en las zonas rurales se han generado iniciativas de manejo de cultivos orgánicos o agroecológicos cuyo manejo procura una buena

interrelación entre agricultura y ganadería (manejo de especies mayores y menores); combinación de árboles y cultivos, manejo del calendario lunar, diversificación, asociación y rotación de especies; elaboración y uso de abonos sólidos fermentados y biofertilizantes líquidos (bioles); uso de biopesticidas, caldos minerales y manejo ecológico de plagas/enfermedades, entre otras prácticas afines.

En la zona de Íntag, se encuentra uno de los ejemplos de aprovechamiento del estiércol de animales, específicamente de chanchos, para la producción de biofertilizantes a nivel de finca. En la última década, la Asociación de Campesinos Agroecológicos de Intag (ACAI) conformada por 70 familias, con el apoyo de organizaciones de cooperación, ha venido trabajando en la construcción y uso de biodigestores en fincas integrales agroecológicas, obteniendo biofertilizante (bioabono líquido) y biogás.

Actualmente, al menos unas 40 familias campesinas han incursionado en el manejo de biodigestores tubulares de flujo continuo y vienen usando el biogás en la cocción de alimentos, en tanto que el efluente líquido lo usan como biofertilizante líquido de aplicación directa al suelo o enriquecido con otros compuestos de aplicación a las plantas.

En estas fincas, la biodigestión o fermentación se efectúa en condiciones anaeróbicas dentro de biodigestores contruidos con plástico tubular, cuyo tamaño

predominante es de 10 m de largo, 0,90 m de ancho y 0,80 m de profundidad con un volumen estimado de 10 m³, la mitad está ocupada con mezcla de agua-excretas y el resto corresponde a la cámara de biogás (Fig. 1)

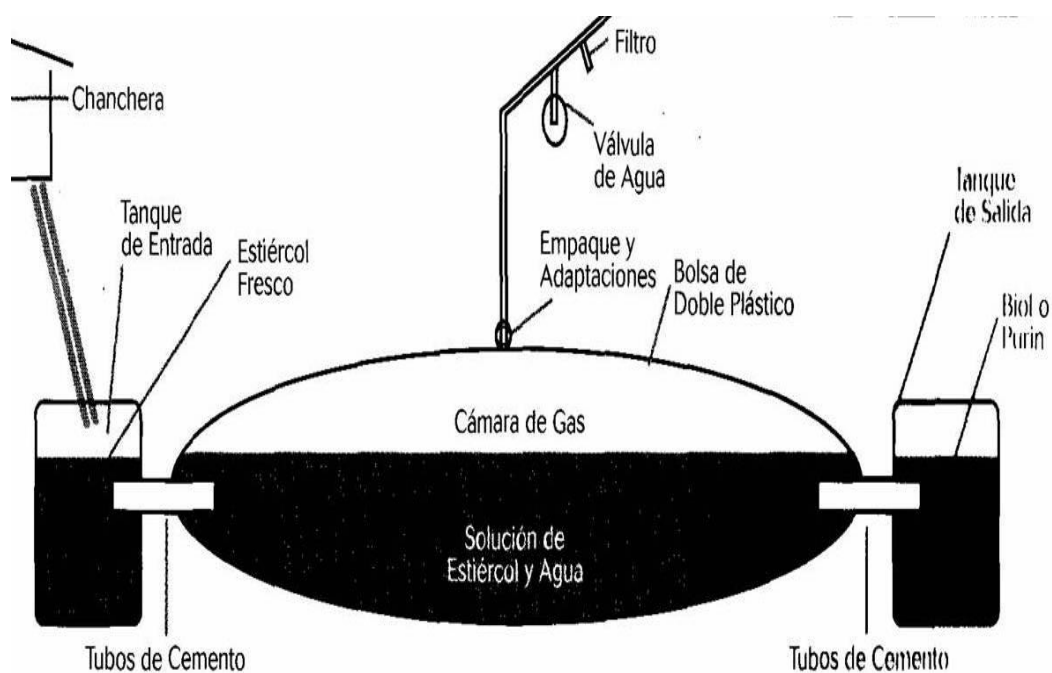


Figura 1: Diagrama general de los biodigestores instalados en Íntag
Fuente: Aso. ACAI – Cartilla de producción de biogás y bioabono

1.2 Justificación

La investigación se justificó en primer término por la existencia local de las excretas porcinas y de cuyes que son potencialmente la “materia prima” para la fermentación y obtención de biofertilizante. A pesar de ciertos avances iniciales en el aprovechamiento de las excretas de chanco, su nivel es todavía incipiente.

En Ítag, los procesos de fermentación se realizan en su gran mayoría con las excretas de chanco (*Suscrofa domestica*), existe un solo caso de una familia campesina que aprovecha las excretas humanas y otro en que se combinan las dos. Sin embargo hasta antes del presente trabajo los parámetros básicos de los procesos fermentativos de las excretas de chanco, el rendimiento y la calidad del biofertilizante producido eran desconocidos.

En el caso de otras especies animales como el cuy (*Cavia porcellus*) no existía ninguna experiencia de fermentación de sus excretas, a pesar de que la crianza y manejo de cuyes forma parte de la vida campesina, por lo que se justifica el estudio de iniciativas orientadas hacia un uso eficiente de los recursos remanentes de estas actividades. En base a un sondeo en 2 comunidades de la parroquia Peñaherrera identificadas entre las que más familias que cuentan con estos sistemas de biodigestión, el 40% de familias crían o manejan un promedio de 15 a 20 cuyes. Adicionalmente, se destaca que un criadero con 20 cuyes genera alrededor de 100 libras de estiércol por semana.

Los procesos de fermentación de las excretas para la generación de biogás y producción de biofertilizante líquido (biol) se realizan en condiciones básicas, sin un estricto monitoreo de los parámetros, rutina que limita la posibilidad de conocer las reacciones y transformaciones que ocurren, sus causas y consecuencias, inhibiendo ciertamente la posibilidad de ensayar cambios y mejoras, cuyos resultados sean técnicamente sustentados.

Una situación semejante y generalizada ocurre en el país, evidenciada en el argumento de Moncayo-Romero (2005, p. 4) quien asevera que la digestión anaerobia es un proceso conocido en la práctica, pero, en nuestro entorno actual se posee una información muy limitada sobre los procesos químicos y microbiológicos.

Uno de los factores que influyen en la dificultad de monitoreo en el ámbito rural tiene que ver con el tamaño de los biodigestores. Si bien la fermentación anaeróbica ocurre en estos, pero se desconocían ciertos parámetros técnicos de operación en los procesos de fermentación anaeróbica, dado que al tratarse de volúmenes considerables se dificulta la estandarización de la materia orgánica o sustrato a fermentarse así como el control de factores como la temperatura por ejemplo. De ahí la pertinencia de adecuar en el mismo campo el tamaño de los biodigestores a una escala menor, lo cual facilitó y permitió el monitoreo y evaluación de parámetros técnicos en los 3 tratamientos en estudio.

Para determinar la eficiencia de los procesos de fermentación anaerobia se requería investigar, la Demanda Química de Oxígeno (DQO), la temperatura y pH, mientras que para conocer variables como la cantidad y calidad de la materia orgánica a fermentarse y la del biofertilizante, se eligió el estudio de los macroelementos nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). El presente trabajo permitió determinar estos parámetros y comparar los procesos de fermentación de las excretas de chanco, cuy y mezcla de estos en iguales proporciones.

Específicamente, no se contaba con resultados y conclusiones experimentales en cuanto a las características patógenas de los estiércoles de chanco y cuy, ni de su mezcla, así como las características del producto final (biofertilizante líquido), es decir se carecía de un recuento de coliformes patógenos antes y después de la fermentación anaeróbica, parámetro importante para la conveniencia o no del uso de biofertilizantes orgánicos líquidos en relación con la seguridad en la salud humana.

El estudio comparativo de la fermentación anaeróbica de los 3 tipos de materia orgánica (excretas de chanco, de cuy y su mezcla), se justificó porque permitió incluso la comprensión de algunos hechos imprevistos. Cabe referir aspectos que han sido muy poco estudiados y de los cuales hay muy poca referencia bibliográfica, determinándose por ejemplo que el proceso de fermentación de las excretas de cuy no generó en ningún momento biogás, lo cual hace presumir que podría haberse producido una fermentación anaeróbica no metanogénica a explicarse en el capítulo correspondiente.

Los resultados, conclusiones y recomendaciones obtenidas mediante esta investigación de campo y laboratorio, han permitido entender mejor los procesos fermentativos en su conjunto y aportan claramente varias ideas y estrategias para mejorar y potenciar los actuales procesos de fermentación anaeróbica, que directa e indirectamente permiten dar valor agregado a los mal llamados desechos, en

beneficio de las familias campesinas que realizan esfuerzos hacia una agricultura realmente sustentable.

1.3 Objetivos

Con la realización del presente trabajo investigativo se consiguió los siguientes objetivos.

1.3.1 Objetivo General

Evaluar los procesos de fermentación en la producción de biofertilizantes mediante el uso de mini-biodigestores en Íntag, cantón Cotacachi, provincia de Imbabura.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Evaluar comparativamente la Demanda Química de Oxígeno (DQO), temperatura y pH en los procesos de fermentación anaeróbica de las excretas de chanco, cuy y mezcla en biodigestores; para la producción de biofertilizante líquido.
2. Determinar la cantidad y calidad del biofertilizante líquido (N, P, K) proveniente de los procesos de fermentación anaeróbica de las excretas de chanco, de cuy y mezcla.

1.4 Hipótesis

- 1.** Los procesos de fermentación anaeróbica de excretas de chanco, cuy y mezcla son diferentes en cuanto a la Demanda Química de Oxígeno (DQO), pH y temperatura.
- 2.** Los estiércoles de chanco y cuy generan rendimientos diferentes en cantidad y calidad en la producción de biofertilizante líquido.
- 3.** La mezcla de los estiércoles de chanco y cuy tiene mayor y mejor producción de bioabono líquido que cada uno de ellos independientemente.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Información General de la Temática

La fermentación anaerobia (o anaeróbica) es parte de procesos biológicos naturales que se han desarrollado desde hace miles o millones de años. Este tipo de fermentación anaerobia, con producción de metano, no es más que un tipo de fermentación catalizada por bacterias específicas y, de la cual se tienen las primeras noticias de Volta 1776 (citado por Flotats, 1997, p. 1) quien descubrió la formación de un gas combustible sobre pantanos, lagos y aguas estancadas, relacionándolo con la materia orgánica depositada en su fondo.

Los mismos autores refieren que la primera instalación de la que se tiene noticia fue instalada en Bombay, en 1859, y desde entonces en la India, se han promovido pequeñas plantas, a nivel familiar o local, tratando estiércol de vacuno con el objetivo de producir gas para cocinar y obtener, a su vez, un producto fertilizante. A este nivel se encuentran múltiples instalaciones en Taiwán, Tailandia, Corea, Kenia, Sudáfrica y China. Mientras tanto, en el continente americano, según el sitio web Wikipedia (2012, s/p), los países en los que se han

instalado biodigestores son Cuba, Colombia, Brasil, Costa Rica, Bolivia, Argentina y México.

En el Ecuador, existen pocos casos que registren una cantidad considerable de biodigestores, posiblemente la Zona de Íntag, con un aproximado de 50 biodigestores (en igual número de fincas) sea la experiencia que posee el mayor número de biodigestores instalados y en funcionamiento.

Según Soria, Manuel de Jesús et al (2001, p. 1), “debido al incremento en el costo de los fertilizantes químicos y a la contaminación que algunos propician en el ambiente cuando se utilizan irracionalmente, es necesario encontrar nuevas alternativas de fertilización, económicas y más eficientes. Se considera como una alternativa viable la utilización de las fuentes orgánicas locales y regionales que tradicionalmente se han subutilizado, entre las que destacan las excretas líquidas de cerdo”.

Afirman también que “las excretas contienen nutrimentos que los cultivos pueden utilizar, pero también poseen altas concentraciones de coliformes fecales que producen enfermedades infecciosas, capaces de causar hasta la muerte en los humanos. Por ello, para utilizarlas como fertilizantes, es necesario darles un tratamiento que elimine estos agentes infecciosos. Una forma de hacerlo es mediante la biodigestión”. Agregan citando a (Esteban, 1983) que “al usar un biodigestor se utilizan los nutrientes contenidos en las excretas y además se reduce la contaminación ambiental, ya que convierte las excretas que contienen

microorganismos patógenos como bacterias, protozoos, larvas, huevos, pupas de insectos, etc., en residuos útiles y sin riesgo de transmisión de enfermedades”.

Silva, (2007, p. 4) señala que el sistema de biodigestores no es una tecnología de reciente aparición, y que, como ya se mencionó, se viene usando hace más de 100 años en varios países. Los biodigestores están basados en un principio conocido como digestión anaeróbica. La digestión anaeróbica es el proceso de fragmentación de la materia orgánica sin la presencia de aire para producir energía, es decir es un proceso similar al que se produce en el estómago humano para descomponer los alimentos. De manera general, varios autores coinciden en conceptualizar a la biodigestión como sinónimo de fermentación.

El proceso de fermentación de los excrementos (humanos y animales) y de los desechos de vegetales (excepto cítricos), es capaz de generar biogás y biofertilizante dentro de un biodigestor, señala Campero, (2007, p. 5), agregando que se puede usar también residuos ganaderos, forestales, de la agricultura o de agroindustrias en este sistema cerrado y anaerobio, sin contacto con el medioambiente ni el oxígeno. También indica que el subproducto de la biodigestión es un bioabono, es decir un fertilizante líquido con todas las características de los abonos orgánicos, que reemplaza con ventaja a los abonos químicos y que además proporciona al suelo una serie de efectos benéficos en sus características físicas químicas y biológicas.

Moncayo-Romero, (2005, p. 4), afirma también, que los excrementos de los animales (cerdos, ganado, pollos, cuyes, etc.) se convierten en uno de los desechos más contaminantes en nuestro medio y muchas de las técnicas modernas no logran solucionar económicamente este problema. Los biodigestores descontaminan y transforman estos desechos y los convierten en subproductos aprovechables como el bioabono y el biogás.

En cuanto al valor del biofertilizante, Botero, y Preston, (1987, s/p), afirman que el efluente líquido puede ser utilizado como abono orgánico, puesto que la digestión anaeróbica comparada con la digestión al aire libre o aeróbica, disminuye las pérdidas para el nitrógeno del 18 al 1% y para el carbono del 33 al 7%, puntualizando además que dentro del biodigestor no se ocasionan pérdidas apreciables para el fósforo, potasio y calcio.

Además, refieren que el biol pierde el olor característico del estiércol que lo originó y puede ser utilizado en el mejoramiento de los suelos arcillosos y arenosos que son pobres en humus y, también como medio nutritivo de los vegetales bajo cultivo hidropónico y cultivos orgánicos en invernadero o en el campo. Agregan, citando a (Stout, 1983) que el efluente puede ser también usado como alimento para animales mezclándolo, para su mejor gustosidad, con granos, tortas, mieles o forrajes ya que el efluente puro posee una concentración de aminoácidos esenciales similares a la soya.

Soria, et al (2005 p.5), afirma que el bioabono no deja residuos tóxicos en el suelo, eleva la calidad del mismo y puede ser considerado como un buen fertilizante que puede competir o complementarse con los fertilizantes químicos.

En cuanto a la composición, (Botero y Thomas, 1987), citados por Soria, sostienen que el bioabono en promedio tiene un 8.5% de materia orgánica, 2.6% de nitrógeno, 1.5% de fósforo, 1.0% de potasio y un pH de 7.5. El bioabono sólido o líquido no posee mal olor a diferencia del estiércol fresco, tampoco atrae moscas y puede aplicarse directamente al campo en forma líquida, en las cantidades recomendadas (McCaskey, 1990, citado por Soria et al 2001, p.5).

Mientras tanto, Urresty, (s/año) señala que el bioabono está compuesto por sustancias promotoras del crecimiento de las plantas. Además proporciona una liberación lenta de nutrientes como el Nitrógeno, Fósforo, Potasio y otros, por medio de reacciones químicas y biológicas del suelo mejorando la fertilidad. El biofertilizante suele estar libre de patógenos (virus, bacterias, hongos, huevos de parásitos y semillas de malezas). El biofertilizante es utilizado para: a) mejorar la estructura del suelo y estimular su granulación, facilitando la labranza; b) aumentar la absorción de agua y aire de los suelos; c) regular la temperatura del suelo, ayudando a disminuir la erosión y evaporación y; d) absorber los fertilizantes inorgánicos solubles, reteniéndolos e impidiendo que se pierdan por lavado.

El Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía IDEA de Madrid - España (2007, p5) refiere que el proceso controlado de digestión anaerobia es uno de los más idóneos para la reducción de emisiones de efecto invernadero, el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos y el mantenimiento y mejora del valor fertilizante de los productos tratados. El IDAE agrega, que la digestión anaerobia puede aplicarse, entre otros, a residuos ganaderos, agrícolas, así como a los residuos de las industrias de transformación de dichos productos. Entre los residuos se pueden citar purines, estiércol, residuos agrícolas o excedentes de cosechas, etc.

En cuanto a la particularidad de cada tipo de materia orgánica, Flotats, (2011, s/p) manifiestan que la digestión anaerobia es un proceso biológico complejo en el que intervienen muchas poblaciones de microorganismos, y en el que cada residuo se comporta diferente, en función de su composición química, su estructura física y la facilidad con que los microorganismos puedan descomponerlos.

Finalmente, un aspecto que resulta muy interesante tenerlo en cuenta tiene que ver con los conceptos de excretas, desechos y/o residuos. Al parecer no pasan de ser conceptos sin importancia, sin embargo, conviene mirar desde otra perspectiva como la que plantea Padilla, Manuel, citado en una recopilación y edición de Urbina y Avendaño (2010. p. 16), acerca de tecnologías de manejo de remanentes en granjas porcinas: El término **remanente** se utiliza para denominar a los desechos en una granja. Es usado para indicar que ese desecho tiene un potencial uso y no es un desperdicio, incluye las heces y la orina de los cerdos, más el

alimento que se desperdicia de los comederos, el agua de lavado y la que se derrama de los bebederos.

Algunos cambios de mentalidad y actitud pueden empezar por la reconceptualización de ciertos términos. Repensar el concepto de desecho hacia el de remanente posibilita otra perspectiva para mirar una forma de aprovechamiento de las excretas, que en la gran mayoría de veces son vistas como simples desechos, a veces hasta repugnantes, que ya no sirven o no tienen ninguna utilidad y valor.

Alkalay, (s/f) también refiere un interesante e ilustrativo concepto de «**desecho**» del profesor Paul Taiganides de la UNDP/FAO. Según Taiganides, desecho es «**un producto fuera de lugar**». Con esto, quiere decir que, una misma materia puede ser un «desecho» o un «producto útil» dependiendo de la utilidad que pudiera prestar. Si se analiza el caso de las excretas de vacunos de lechería: desde el punto de la lechería, éstas son «**desechos**» que hay que eliminar, pues atraen insectos y producen malos olores; pero si se las mira desde el punto de vista del campo labrado, inmediato a la lechería, **estas excretas**, ahora con el nombre de «**guano**», son un abono y acondicionador de suelos muy apreciado por el agricultor por lo que pasa a ser un «**producto útil**».

Por simple analogía, lo mismo se diría de las excretas de chanco o cuy considerándolas como **residuos** o **remanentes** para la elaboración de biofertilizantes mediante la biodigestión o fermentación.

2.2 Información específica

2.2.1 Fermentación anaeróbica

El aspecto central de la investigación plantea la evaluación de la fermentación o degradación biológica anaeróbica de excretas o estiércoles, por lo que es pertinente realizar una aproximación al concepto de *fermentación anaeróbica*.

Dado que la biodigestión o fermentación anaeróbica se realiza en biodigestores, conviene primeramente enfocar en que consiste un *biodigestor*. Campero, (2007, p. 5) define al biodigestor como el dispositivo en el que se llevan a cabo los procesos de transformación de la materia orgánica para la obtención de biogás y biofertilizante. Un biodigestor de desechos orgánicos, en su forma más simple, es un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado también reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar en determinada dilución de agua para que se descomponga, produciendo gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, que pueden ser aplicados frescos, pues el tratamiento anaerobio elimina los malos olores y la proliferación de insectos.

El fenómeno de biodigestión o fermentación ocurre, porque existe un grupo de microorganismos bacterianos anaeróbicos presentes en la materia fecal, que al actuar sobre los desechos orgánicos de origen vegetal y animal, producen una

mezcla de gases con alto contenido de metano (CH_4), llamada biogás, y adicionalmente el proceso fermentativo genera residuos con un alto grado de concentración de nutrientes y materia orgánica (*Íbid*).

La fermentación anaeróbica se lo define como la “conversión biológica anaeróbica (sin oxígeno) de las moléculas orgánicas, generalmente hidratos de carbono, en alcohol, ácido láctico y gases, mediante la acción de ciertas enzimas que actúan bien directamente o como componentes de ciertas bacterias y levaduras” (blog ciencia.glosario.com).

Por su parte (Soubes, 1994), referido por Soria et al (2001, p. 354), puntualiza que la digestión anaerobia es un proceso complejo desde el punto de vista microbiológico; al estar enmarcado en el ciclo anaerobio del carbono, es posible en ausencia de oxígeno, transformar la sustancia orgánica en biomasa y compuestos inorgánicos en su mayoría volátiles: CO_2 , NH_3 , H_2S , N_2 y CH_4 . La biodigestión anaerobia ocurre en forma natural en el tracto digestivo de animales y debajo de aguas estancadas o pantanos, pero también puede realizarse en depósitos cerrados herméticamente, llamados digestores.

En los procesos anaeróbicos (en ausencia de oxígeno), un grupo de bacterias pueden convertir más del 90% de la materia orgánica a productos intermedarios (ácidos orgánicos y alcoholes) y después a metano (CH_4), dióxido de carbono, ácido sulfhídrico y amonio (www.estrucplan.com.ar).

Varnero, (2008, p. 8), explica que los residuos orgánicos mezclados con agua se introducen periódicamente en el digestor o biodigestor. Estos materiales de desperdicios se descomponen por la acción de microorganismos en ausencia de oxígeno. Los procesos de fermentación anaeróbica se realizan en tres etapas: 1) hidrólisis fermentativa; 2) formación de ácidos y 3) formación de metano.

Según Moncayo-Romero, (2005, p. 5), estas fases se pueden resumir así:

- a) **hidrólisis y fermentación**, en la que la materia orgánica es descompuesta por la acción de un grupo de bacterias hidrolíticas anaerobias que hidrolizan las moléculas solubles en agua, como grasas, proteínas y carbohidratos, y las transforman en monómeros y compuestos simples solubles;
- b) **acetogénesis y deshidrogenación**, donde los alcoholes, ácidos grasos y compuestos cromáticos se degradan produciendo ácido acético, CO₂ e hidrógeno que son los sustratos de las bacterias metanogénicas;
- c) **metanogénica** en la que se produce Metano (CH₄), CO₂ e hidrógeno a partir de la actividad de bacterias metanogénicas.

Los microorganismos o bacterias que en forma secuencial intervienen en el proceso son:

- bacterias hidrolíticas y fermentadoras;
- acetogénicas obligadas reductoras de protones de hidrógeno;
- sulfato reductoras (sintróficas facultativas) consumidoras de hidrógeno;

- bacterias homoacetogénicas;
- bacterias metanogénicas;
- bacterias desnitrificantes (*Íbid*, p. 5)

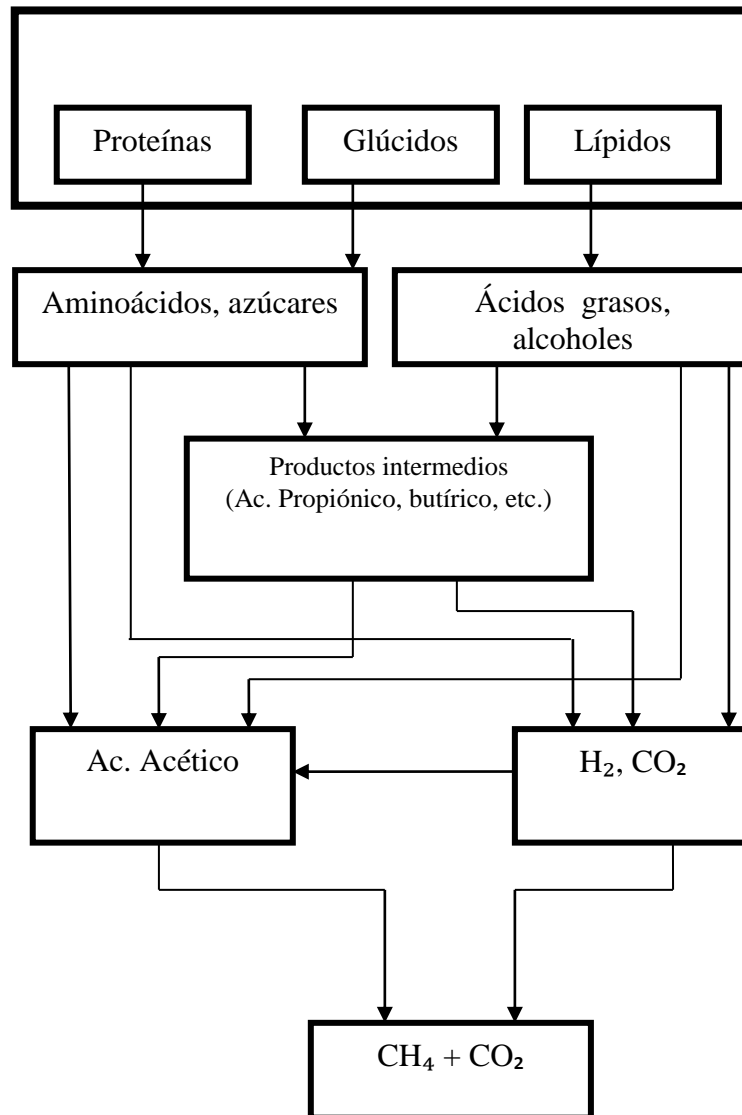


Figura 2: Flujograma de las fases de la fermentación anaeróbica

Fuente: Flotats, X., Campos, E., Bonmati, A. (1997)

Elaboración: Los autores

En cuanto a los parámetros que condicionan el proceso de fermentación metanogénica, Varnero, (2008, p. 8) manifiesta que, básicamente comprenden: la temperatura, el tiempo de retención, la relación carbono nitrógeno (C/N), el nivel de sólidos totales y el pH. En una investigación realizada por Días y Kreling (2006) se incluye la demanda Química de Oxígeno (DQO) como un parámetro que posibilita monitorear la eficiencia del proceso de fermentación en la purificación o descontaminación de soluciones con alto contenido de materia orgánica. Los residuos provenientes de una granja porcina, normalmente poseen un pH de 6,98-7,74 y DQO de 1560 – 36 320 mg/l.

Sobre la fermentación de estiércoles de cerdo, en su estudio de *valorización del estiércol de cerdo mediante la digestión anaerobia*, López, (s/año, p. 6) señala que es un método de tratamiento de residuos, permite reducir la cantidad de materia orgánica contaminante y, al mismo tiempo, producir energía. El que uno de estos dos objetivos predomine sobre el otro depende de las necesidades de descontaminación del medio y de la naturaleza y origen del residuo.

Mientras tanto, respecto a la fermentación anaeróbica del estiércol de cuy, la bibliografía específica existente es muy escasa. De todas maneras, es importante referir lo que describen los protagonistas de una de las experiencias de elaboración y aplicación de biofertilizantes en Lima-Perú.

Felipe-Morales, y Moreno, (2005) en su artículo **Producción de biogás con estiércol de cuy**, aseguran: “la carga inicial o carga de fondo con la que se alimenta cada año el biodigestor está constituida por un precompost que, en el caso de Bioagricultura Casa Blanca, es preparado a base de rastrojo de maíz y estiércol de cuy. Una tonelada de este pre compost, que tiene de tres a cuatro semanas de preparación, y con una temperatura de entre 50 y 55° C, se introduce por la boca central y se mezcla con 200 litros de rumen o bazofia proveniente del estómago del ganado vacuno recién sacrificado; este material se obtiene de un matadero o camal de la zona, sólo una vez al año y, generalmente, de forma gratuita pues es considerado material de descarte. El rumen o bazofia contiene una carga alta de microorganismos anaeróbicos responsables del proceso de fermentación y la producción de biogás, en particular de metano”.

Sobre el mismo tema y sobre la misma experiencia, el periódico peruano “La República” en un artículo fechado el 27.feb.2005, trae la afirmación de la pareja de agrónomos: “El compost es un abono natural que se crea mezclando los rastrojos de las cosechas con el guano de los cuyes, y luego se deja a la intemperie para que se degrade aeróbicamente durante algunos meses. El pre compost es esta mezcla, pero solo con un mes de degradación”. “A una tonelada del pre compost se le añade bazofia de ganado vacuno recién sacrificado, una sustancia que embulle de las llamadas bacterias metanogénicas, generadoras de gas metano. Luego esta masa se diluye con unos 200 litros de agua y se le arroja al biodigestor”.

Según afirmación de J. Restrepo (consulta personal 18.12.2011), el hecho de que la fermentación anaeróbica no genere ningún tipo de biogás en el biodigestor, tiene una explicación concreta, obedece a que el sistema digestivo de los cuyes no se encuentran bacterias metanogénicas, que como se sabe son las responsables de la formación de metano y otros gases en la fase final de un proceso de biodigestión o fermentación.

2.2.2 Biofertilizante

De manera específica, respecto del abono líquido, biol o biofertilizante, que es producto central como consecuencia de la biofermentación anaeróbica, es importante conocer lo que sostienen varios autores.

Moncayo-Romero, (2005, p. 9) se refiere en estos términos: “otro producto, quizá el más importante desde el punto de vista económico y ambiental es el efluente líquido del biodigestor”. “El efluente o bioabono está constituido por la fracción que no alcanza a fermentarse y por el material agotado. El bioabono es un líquido espeso casi negro. La gran ventaja de ese abono es que la mayoría de los nutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) inicialmente presentes en el material a fermentar no se pierden”. Además, es importante conocer que, por ejemplo, un metro cúbico de bioabono producido y aplicado diariamente, puede fertilizar más de 2 hectáreas de tierra por año.

Refiere que el bioabono no tiene mal olor, no posee agentes causantes de enfermedades, tiene cerca del 90% de agua, por ser líquido, puede ser distribuido con camiones tanques o agregado a restos vegetales para ser distribuido como sólido. Su presentación casi líquida, permite un fácil manejo en sistemas de riego. Su uso ha sido probado en varios países y en diferentes cultivos, reportando incrementos en las cosechas y mejoramientos en las propiedades del suelo, a diferencia de los fertilizantes químicos que reducen la productividad de la tierra (*Ibid*, p. 9).

El nitrógeno orgánico debe ser convertido a nitrógeno amoniacal antes de ser absorbido por las plantas. El valor de los nutrientes en el estiércol debe de ser tomado muy en cuenta. El biodigestor mejora la capacidad fertilizante del estiércol. Nutrientes tales como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio así como los elementos menores son conservados en el efluente. En el caso del nitrógeno, buena parte del mismo, presente en el estiércol en macromoléculas es convertido a formas más simples como amonio (NH_4), las cuales pueden ser aprovechadas directamente por la planta. El efluente es mucho menos oloroso que el afluente (*Ibid*, p. 9).

El biofertilizante líquido es recomendado, debido a que la fermentación biológica anaeróbica comparada con la descomposición del estiércol al aire libre reduce las pérdidas en el efluente, en el caso del nitrógeno de 18% a 1% y de 33% a 7% para el carbono. Además, según Botero y Preston (1987, s/p), dentro del

biodigestor no hay pérdidas apreciables de fósforo, potasio y calcio contenidos en las excretas.

López, (s/año), respecto al biofertilizante de cerdo, indica que el material resultante de la biodigestión, puede ser directamente usado como abono y acondicionador del suelo. Nutrientes como el nitrógeno se vuelven más disponibles, mientras el fósforo y el potasio no se ven afectados en su contenido y disponibilidad.

Particularmente en el caso de las excretas de cuy, en cuanto al valor del biofertilizante, la pareja peruana Felipe-Morales y Moreno (2005) señalan que “por otro lado, obtenemos de manera constante bioabono líquido o biol, que no sólo es un excelente abono orgánico para nuestros cultivos, sino que, por su contenido de fitohormonas, es un valioso activador del crecimiento y floración de las plantas, en particular de los frutales”.

Colque, et al (2005, p 1) coinciden con otros autores en que el biofertilizante es una fuente de fitoreguladores que se obtiene como producto del proceso de descomposición anaeróbica de los desechos orgánicos en mangas de plástico (biodigestores), actúa como bioestimulante orgánico en pequeñas cantidades y es capaz de promover el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Es evidente la diversidad de conceptos en torno a los biofertilizantes, por ello conviene culminar este breve recorrido conceptual con una variante. Restrepo,

(2007, p. 105), sostiene que los biofertilizantes, son súper abonos líquidos con mucha energía equilibrada y en armonía mineral, preparados a base de mierda de vaca muy fresca disuelta en agua y enriquecida con leche, melaza y ceniza, fermentada por varios días en toneles o tanques de plástico, bajo un sistema anaeróbico y muchas veces enriquecidos con harina de rocas molidas o algunas sales minerales como son los sulfatos de magnesio, zinc, cobre, etc.

Restrepo, en cuanto al uso, agrega que los biofertilizantes sirven para nutrir, recuperar y reactivar la vida del suelo, fortalecer la fertilidad de las plantas y la salud de los animales, al mismo tiempo que sirven para estimular la protección de los cultivos contra el ataque de insectos y enfermedades. Por otro lado, sirven para sustituir los fertilizantes químicos altamente solubles de la industria, los cuales son muy caros y vuelven dependientes a los campesinos, haciéndolos cada vez más pobres.

Respecto a cómo actúan los biofertilizantes, el mismo autor explica con claridad: funcionan principalmente al interior de las plantas, activando el fortalecimiento del equilibrio nutricional como un mecanismo de defensa de las mismas, a través de los ácidos orgánicos, las hormonas de crecimiento, antibióticos, vitaminas, minerales, enzimas y co-enzimas, carbohidratos, aminoácidos y azúcares complejos, entre otros, presentes en la complejidad de las relaciones biológicas, químicas, físicas y energéticas que se establecen entre las plantas y la vida del suelo.

2.2.3 Demanda Química de Oxígeno DQO

En referencia a la Demanda Química de Oxígeno DQO, Flotats, Campos, y Bonmatí, (1997, p. 3) explican que por el principio de conservación de la materia, en un biodigestor anaerobio la cantidad eliminada de DQO, medida indirecta de la concentración de materia orgánica del residuo a tratar, se convierte en gases. Por este principio, la cantidad máxima de metano producible es de $0,35 \text{ m}^3$ de CH_4/kg DQO eliminada en condiciones de temperatura y presión normales.

Flotats, et al (2011, s/p), refiere que “la materia orgánica puede expresarse en unidades de sólido volátil (SV) o sólido suspendido volátil (SSV, SV no solubles), pero la principal medida que se utiliza en digestión anaerobia es la demanda química de oxígeno (DQO). Esta expresa el equivalente en O_2 necesario para oxidar completamente la materia orgánica. Si se considera un biogás formado exclusivamente por CH_4 y CO_2 , y teniendo en cuenta que la DQO del CO_2 es nula, la DQO eliminada en el residuo se corresponderá con la DQO obtenida en forma de metano, lo cual significa $0,35 \text{ m}^3$ de CH_4 por kg de DQO eliminada, a $P=1 \text{ atm}$ y $T=0^\circ\text{C}$. A partir de la composición elemental de un residuo podría predecirse el potencial teórico de la transformación metano, pero estos valores teóricos son una aproximación, ya que parte del sustrato se transformará en microorganismos anaerobios, y algunos residuos pueden contener compuestos no biodegradables”.

Días y Kreling (2006, p. 49) señalan que tanto el DBO y el DQO son indicadores muy comunes de contaminación de las aguas. La gran diferencia entre el DBO y el DQO se debe a que en el primer indicador solamente se contabiliza el oxígeno consumido por los microorganismos para descomponer la materia orgánica degradable. Por su parte, el DQO mide la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica degradable, así como también los restos de materiales fibrosos, lignina y otros (Davis y Masten 2005), citados por Días y Kreling.

En general, cabe señalar que existen muy pocas fuentes de consulta que refieran en forma específica los valores de reducción de DQO en fermentación de excretas o estiércol de cerdo.

De un estudio realizado por la fundación colombiana CIPAV (s/año), comparando la eficacia de biodigestores con plástico de invernadero y geomembrana, se desprende que ambos tipos de biodigestores resultaron eficientes para la remoción de la materia orgánica con valores de 88 y 89% para DQO, respectivamente (p. 16). Este estudio agrega que este tipo de biodigestores trabajando a temperaturas entre 17 y 21°C, alcanzarían remociones de DQO mayores al 85%.

Por su parte, López, (s/a, p. 22-23) presenta una información similar, a través de un cuadro, que expresa relativamente la disminución de la contaminación medida indirectamente a través de DQO.

<i>Parámetros</i>	<i>Demanda Química de Oxígeno DQO</i>
Entrada al biodigestor	3095 mg/l
Salida del biodigestor	347 mg/l
Porcentaje de remoción	89 %

Fuente: López, Antonio
Elaboración: Los autores

2.2.4 Temperatura

Soria, et al (p. 3), señalan que para que las bacterias aseguren su ciclo biológico en el proceso de digestión anaeróbica es necesario que se presenten ciertas condiciones. En cuanto a la temperatura, refiere que, las bacterias mesófilas completan su ciclo biológico en el ámbito de 15 a 40°C con una temperatura óptima de 35°C. Las bacterias termofílicas cumplen sus funciones en el ámbito de 35 a 60°C con una temperatura óptima de 55°C.

López, (p. 15), afirma que la temperatura realmente no afecta la producción absoluta de gas que realmente es dependiente de las características del sustrato. Agrega que, a medida que la temperatura aumenta también se incrementa la actividad metabólica de las bacterias, requiriéndose menor tiempo de retención para que se complete el proceso de fermentación. Si el tiempo de retención es demasiado corto, las bacterias son desalojadas del biodigestor más rápido de lo que pueden reproducirse, deteniéndose así el proceso.

En función de la temperatura óptima de crecimiento, los microorganismos se clasifican en: psicrófilos (temperatura óptima de crecimiento inferior a 30° C); mesófilos (óptimo de crecimiento entre 30 y 45° C); termófilos (su temperatura óptima es superior a los 45° C y generalmente entre 50 y 60° C). Como consecuencia de este crecimiento específico de los microorganismos se pueden distinguir las fermentaciones psicrófila, mesófila y termófila. La operación en el rango mesófilo es el de mayor difusión (Íbid, p. 16).

El mismo autor, refiere la existencia de una relación entre las distintas fermentaciones, la temperatura y el tiempo de duración de las mismas.

Cuadro 1 Tipo de microorganismos, rangos de temperatura y duración de la fermentación anaeróbica

Microorganismos	Temperatura	Duración
Psicrófilos	15° C	30 - 60 días
Mesófilos	35° C	20 – 25 días
Termófilos	55° C	10 – 15 días

Fuente: López, Antonio

Elaboración: Los autores

Alkalay, (s/año, p. 4) refiere que para condiciones rurales, en zonas de clima cálido y digestores pequeños, es posible encontrarse con operaciones de digestores a temperatura ambiente (psicrofílica: 15 a 25°C).

2.2.5 pH

Flotats, Campos, y Bonmatí, (1997, p. 4), manifiestan que en cada fase del proceso los microorganismos presentan una máxima actividad en rangos diferenciados de pH. Hidrolíticos entre 7,2 y 7,4; acetogénicos entre 7 y 7,2 y; metanogénicos entre 6,5 a 7,5. En la digestión de algunas aguas residuales a veces es necesario regular el pH a fin de evitar la disminución del pH debido a los ácidos generados en la 2da fase. En los residuos ganaderos, su alta alcalinidad permite una autorregulación permanente del pH, lo cual es ventajoso porque en el medio rural, mientras menos insumos externos se requieran siempre será mejor.

Alkalay, (s/año, p. 5), manifiesta que en operación normal de un digestor, el pH fluctúa entre 6,8 y 7,6 siendo un buen índice del equilibrio ecológico requerido. Un aumento en el pH es índice de exceso de amoníaco; en tanto que una disminución en el pH es índice de un aumento en el contenido de ácidos grasos volátiles, lo que provoca una menor producción de biogás.

2.2.6 Macroelementos (N, P, K)

López, (s/a, p. 9) al referirse a las ventajas de la biodigestión, afirma que se mantiene el valor fertilizante del estiércol. La mitad o más del nitrógeno orgánico se convierten en amoníaco ($\text{NH}_3\text{-N}$). Una pequeña cantidad de fósforo (P) y potasio (K) se sedimenta como lodo en la mayoría de los digestores. Mediante el

proceso de biodigestión, estos compuestos son desdoblados dejando los nutrientes en formas simples y fáciles de asimilar por las plantas. López, cita a (Polprasert, 1989) refiriendo que en los biodigestores no se destruye ninguno de los nutrientes presentes en los desechos, pero estos se hacen más disponibles para las plantas. Gracias al proceso de biodigestión anaeróbica el nitrógeno pasa a formas más asimilables e incrementa su disponibilidad, mientras el fósforo y el potasio no se ven afectados.

La siguiente tabla muestra el contenido de los macroelementos N, P y K en dos fincas en Colombia.

Cuadro 2 Contenido de nutrientes en el efluente de biodigestores plásticos (Pedraza, 1995)

	NITRÓGENO %	FÓSFORO %	POTASIO %
Reserva Pozo Verde	0,063	0,01	0,1
Hacienda Lucerna	0,07	0,01	0,045

Fuente: López, Antonio
Elaboración: Los autores

2.2.7 Conteo de coliformes

Respecto a la carga microbiana patógena, en términos generales se encuentra que si bien hay autores que coinciden en los porcentajes de remoción o disminución de coliformes, también existen otros que refieren valores de remoción diferenciados.

Así por ejemplo, López, (s/a, p. 9), testimonia que la reducción de patógenos es mayor a 99% en 20 días de tiempo de retención hidráulica (TRH) de digestión mesofílica. Otros autores (85%). Entre las conclusiones experimentales de fermentación anaeróbica de excretas de cerdo, SORIA, et al (2001, p. 15-16) afirman que los coliformes se eliminaron en un 100% en un tiempo de 50 días, tomando en cuenta que la carga se hizo en el período de verano.

No obstante hay quienes refieren valores porcentuales más bajos de reducción de coliformes (UFC), de 85%.

2.2.8 Tiempo de retención

Es el tiempo promedio en que la materia orgánica es degradada por los microorganismos. Se ha observado que a un tiempo corto de retención se produce mayor cantidad de biogás, pero un residuo de baja calidad fertilizante por haber sido parcialmente digerido. Pero para tiempos largos de retención se obtendrá un rendimiento bajo de biogás, pero con un efluente (residuo) más degradado y con excelentes características como fuente de nutrientes (SORIA, et al 2001, p. 3).

Alkalay, (s/año, p. 4) sostiene que la velocidad de degradación depende en gran parte de la temperatura, pues a mayor temperatura el tiempo de retención requerido es menor. Para un digestor batch el tiempo de retención es el tiempo que transcurre entre la carga y descarga del sistema. Por lo general, se trabaja con

tiempos de retención entre 20 y 55 días, variando la alimentación diaria entre 1 y 5 kg de sólidos totales por metro cúbico de digestor.

Soria, et al (2001, p. 15-16) concluyen que en los trabajos de biodigestión de la excreta líquida, el tiempo de retención de la excreta dentro del digestor fue de 50 días, este tiempo puede variar por estar directamente influenciado por la temperatura, de esta manera el tiempo de retención puede reducirse a 30 días si existen temperaturas ambientales muy altas, y alargarse hasta 90 días si las temperaturas permanecen bajas.

Hay otras variables que se pueden considerar, no obstante, el estudio se limitó a las anteriores. Finalmente, cabe agregar que varios autores coinciden en que para una adecuada digestión y un buen rendimiento, debe haber un íntimo contacto entre los microorganismos y la materia prima o sustrato, por lo que es necesaria una agitación a la masa interna del digestor. Esta agitación también ayuda a prevenir la formación de «natas» o «costras». En campo, la agitación suele realizarse por medios manuales.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales e Insumos

3.1.1 Materiales

- Bidones de plástico
- Adaptador para salida de tanque de agua
- Codo flex de ½ pulgada
- Uniones
- Tapones
- Teflón.
- Llave esférica de ½ pulgada
- Neplos de 10 cm
- Abrazaderas
- Vaso de precipitación graduado
- Cautín eléctrico
- Carretilla
- Baldes
- Tinajas
- Pala recta
- Azadones
- Zaranda (malla)
- Sacos de yute
- Fundas de plástico
- Plástico
- Resmas de papel bond
- Libreta de campo
- Lápiz y esferos

3.1.2. Equipos y/o instrumentos usados en campo

- Balanza grande
- Balanza pequeña (gramera)
- Termómetro
- Cámara fotográfica
- Video filmadora
- Computadora e impresora

- Medidor de conductividad marca Fisher
- Termo porta-vacuna

3.1.3. Laboratorio

Equipos y Reactivos para Análisis de Demanda Química de Oxígeno DQO

<u>Equipos</u>	<u>Reactivos</u>
- Digestor para DQO marca WTW, modelo CR 3200	- Solución de digestión como ácido sulfúrico
- Plancha de agitación magnética con base de porcelana	- Dicromato de potasio
- Tubos de ensayo 10cm x 1,5 cm.	- Nitrato de plata
- Bureta de 50 ml	- Sulfato amonio ferroso
- Vasos de precipitación de 100 ml	- Ferroína como indicador
- Agitador magnético	
- Soporte universal	
- Pinza para bureta	
- Botellas de plástico	

Equipos y Reactivos para Análisis del Nitrógeno

<u>Equipos</u>	<u>Reactivos</u>
- Bloque de digestión de Microkeldahl	- Mezcla catalizadora (Sulfato de potasio, selenio, sulfato cúprico)
- Destilador por arrastre de vapor	- Ácido sulfúrico concentrado

- Tubos de digestión 60 x 6 cm
- Bureta de 50 ml
- Erlenmeyer 250 ml
- Pipeta volumétrica 50 ml
- Soporte universal
- Plancha con agitador magnético
- Pinza para bureta
- Ácido bórico 3%
- Hidróxido de sodio 45%
- Ácido sulfúrico 0,1 N

Equipo y Reactivos para Análisis de Fósforo

<u>Equipos</u>	<u>Reactivos</u>
- Espectrofotómetro UV – VIS	- Solución molibdato vanadato
- Tubos de ensayo 10cm x 1.5 cm	- Persulfato de potasio
- Sistema de filtración	
- Digestor de DQO	
- Filtros de membrana de poro 45 μm	

Equipos y Reactivos para Análisis de Potasio

<u>Equipos</u>	<u>Reactivos</u>
- Espectrofotómetro de absorción atómica Analyst 400	- Soluciones estándares de potasio de 1, 2, 3, 4 y 5 ppm
- Horno microondas	- Ácido nítrico libre de metales
- Vasos de digestión	- Ácido fluorhídrico
- Pipeta volumétrica de 5 ml	
- Balón volumétrico de 100 ml	

Equipos y Reactivos para Análisis de Coliformes

<u>Equipos</u>	<u>Reactivos</u>
- Incubadora para microorganismos	- Placas petrifil coliformes, E Coli
- Pipetas de 10 ml	- Agua de peptona
- Frascos de 1000 ml	
- Micro pipeta 1000 µml	
- Puntas estériles	

3.1.4. Insumos

- 27 kg de estiércol de chanchos
- 27 kg de estiércol de cuyes
- 216 kg de agua

3.2 Caracterización del área de estudio

El estudio experimental se realizó en la cabecera parroquial de Peñaherrera, una de las 7 parroquias de la Zona de Íntag. La parroquia Peñaherrera está ubicada al este de la Zona de Íntag, territorio que lleva el nombre de su principal río, el mismo que da origen y forma la cuenca y/o valle de Íntag y que en su mayor parte pertenece al cantón Cotacachi, con excepción de la parroquia Selva Alegre, que es parte del cantón Otavalo, ambos pertenecientes a la provincia de Imbabura.

La Zona de Íntag, geográficamente se encuentra ubicada al extremo occidental de la provincia de Imbabura, a unos 60 Km de las ciudades de Cotacachi y Otavalo y, al norte y oeste se extiende hasta los límites con la provincia de Esmeraldas. En la cuenca hidrográfica del Río Íntag, existen remanentes de bosque nublado, que son parte de la reconocida Bioregión “El Chocó”, considerada entre los puntos calientes más importantes del planeta, por la diversidad biológica y endemismo y por estar entre los ecosistemas más amenazados, inclusive con especies de aves y animales en peligro de extinción

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial PDOT de Peñaherrera (2011, p.18), la parroquia tiene una superficie de 122,4 km² con un rango altitudinal desde los 1181 msnm (Aguagrún) a 3490 msnm (Cordillera de Toisán). Esta variación influye de manera directa en la pluviosidad y temperaturas locales. De acuerdo con el Mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador (Cañadas, 1983) el área está influenciada principalmente por dos unidades bioclimáticas:

- **Muy Húmeda Subtropical:** correspondiente a la unidad ecológica (zona de vida): Bosque muy húmedo Pre-montano (bmhPM).
- **Muy Húmeda Templada:** coincide con la zona de vida: Bosque muy húmedo Montano Bajo (bmhMB).

En cuanto a la población, según el Censo de Población y Vivienda 2010 (citado por el PDOT Peñaherrera 2011, p. 10) la parroquia de Peñaherrera cuenta con 1644 habitantes de

los cuales el 51.70% equivalen a hombres y el 48.30% corresponde a mujeres. A más de la cabecera parroquial, las comunidades que integran la parroquia son El Triunfo, Villaflora, Chinipamba, Cuaraví, Nangulví Alto, Nangulví Bajo, Mirador de las Palmas, El Paraíso y El Cristal. Cabe señalar que este rincón de la patria no ha sido la excepción en cuanto a la migración, pues refleja una situación generalizada de las zonas rurales del Ecuador, dado que su población, en lugar de aumentar, en estos 10 últimos años ha disminuido, pues según el censo del 2001, la población distribuida entre sus 9 comunidades y la cabecera parroquial registraba a unos 1999 habitantes según el Plan de Desarrollo Parroquial de Peñaherrera (2001). A nivel de toda la cuenca del Río Íntag, que comprende alrededor de 1680 Km² de las siete parroquias inteñas (seis de Cotacachi y una de Otavalo), se estima una población de 14000 habitantes.

Las principales actividades económicas y productivas de la parroquia de Peñaherrera son la pequeña agricultura y ganadería y en menor escala, aunque en leve crecimiento, el turismo. En cuanto a la agricultura se puede referir la siembra de cultivos como fréjol y maíz duro que están destinados en parte a la comercialización y, yuca, plátano, camote, zanahoria blanca y otros para el autoconsumo; mientras que en la ganadería se maneja especies como bovinos, porcinos, así como también gallinas y cuyes. De los cultivos anteriores, hasta ahora en el cultivo de fréjol se acostumbra a usar agroquímicos, generalmente entre 2 a 3 aplicaciones por cultivo.

Cabe también referir que en los últimos 15 años se han adoptado la plantación y manejo de otros cultivos, especialmente tomate de árbol, cuyo manejo está marcado por un alto uso y dependencia de pesticidas. El caso de la naranjilla es relativamente similar. Es

necesario mencionar que el manejo de cultivos se realiza en condiciones desfavorables, dado que una evidente mayoría de los terrenos de cultivo están caracterizados por poseer una topografía muy irregular, incluso con suelos de aptitud forestal y no agrícola.

En su conjunto los bosques y recursos/servicios asociados son el patrimonio más valioso que tiene la parroquia: fuente de agua, suelos fértiles, biodiversidad y múltiples servicios ambientales. Al mismo tiempo este patrimonio es precisamente el más amenazado por la deforestación (PDOT Peñaherrera, 2011, p. 29). El análisis de deforestación en Peñaherrera entre 2006 y 2011, indica la pérdida de 17,36 km² (1.736 has.) que representa una tasa de deforestación de 2,8% por año. A este ritmo la parroquia perderá lo que queda de sus bosques en unos 25 años (Íbid, p. 32). La deforestación, la irregular topografía y las inadecuadas prácticas de cultivo, inciden en la erosión y pérdida de fertilidad de los suelos.

La Cabecera Parroquial de Peñaherrera es un pequeño pueblo constituido por unas 151 viviendas, y según el PDOT 2011, está habitado por un total de 319 habitantes divididos en 156 hombres y 163 mujeres; está localizada a una altitud de 1820 msnm, con una temperatura referencial que fluctúa entre 14 - 20 °C. En cuanto a pluviosidad, según Cevallos, Darwin (Tesis de ingeniería agropecuaria), citado por PDOT 2011, se tiene la cifra de 1284,6 mm anuales. Para la cuenca media del Rio Intag, la organización ambientalista DECOIN, (2011, s/p) refiere un promedio de 2200 mm/año.

El ensayo experimental se localizó en un predio de propiedad de uno de los tesisas, en el Barrio Zagalapamba de la Cabecera Parroquial de Peñaherrera.

3.2.1 Ubicación

País: Ecuador
 Provincia: Imbabura
 Cantón: Cotacachi
 Parroquia: Peñaherrera
 Barrio: Zagalapamba

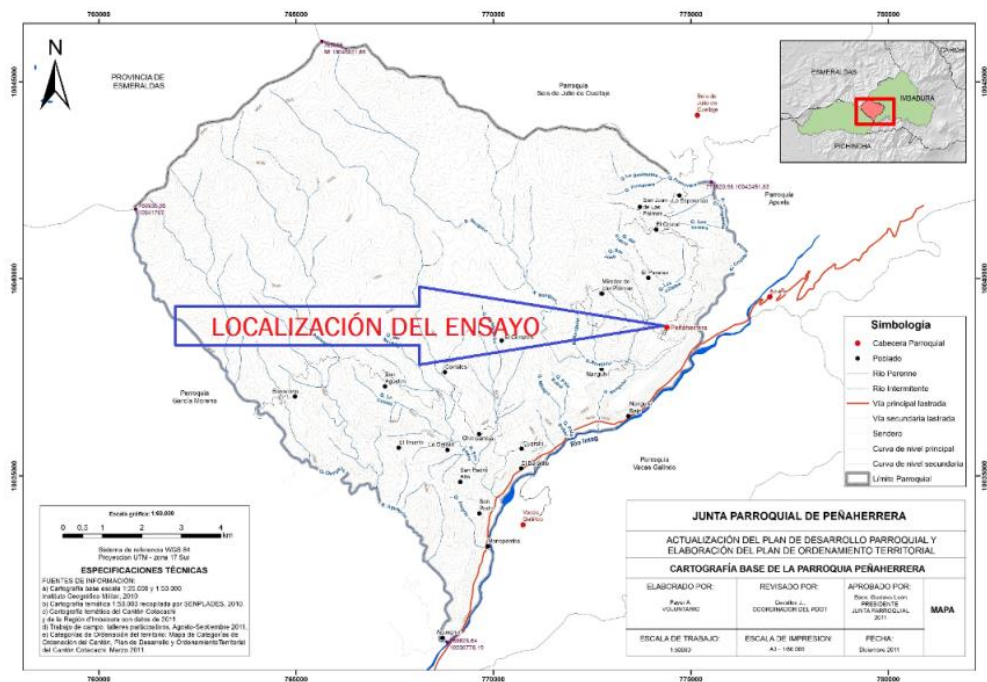


Figura 3: Mapa de localización del estudio
 Fuente: PDOT Peñaherrera, 2011
 Adaptación: Autores



Foto 1: Vista de la cabecera parroquial de Peñaherrera y ubicación del ensayo



Foto 2: Vista general del ensayo

3.2.2 Materiales para los biodigestores

<u>Cantidad</u>	<u>Materiales y/o accesorios</u>
1	Bidón de plástico de 60 litros con tapa hermética
2	Adaptadores para salida de tanque de agua (1/2 pulgada)
3	Neplos de hierro galvanizado (1/2 pulgada y 8 cm de largo)
2	Llaves de válvula esférica de media vuelta (1/2 pulgada)
1	Tapón hembra de hierro galvanizado (1/2 pulgada)
1	Adaptador flex (1/2 pulgada)
1	Codo flex (1/2 pulgada)
2	Abrazaderas (1/2 pulgada)
1	Teflón



Foto 3: Materiales y/o accesorios básicos

3.3 Métodos

3.3.1 Factores en estudio

En el experimento y estudio desarrollado se consideraron los siguientes factores o variables.

Variables independientes

Tipo de biomasa o materia orgánica

- Excretas de chancho
- Excretas de cuy
- Mezcla de excretas de chancho y cuy (50:50)%

3.3.2 Tratamientos

Los tratamientos sometidos a evaluación en esta investigación fueron los siguientes:

N	TRATAMIENTO	CÓDIGO
1	Fermentación con excretas de chancho	t1
2	Fermentación con excretas de cuy	t2
3	Fermentación con la mezcla (50: 50)%	t3

3.3.3 Diseño experimental

La distribución de los tres tratamientos con sus tres repeticiones, se realizó mediante un diseño completamente al azar (DCA). El DCA fue una alternativa viable, considerando ciertos aspectos como el limitado número y la uniformidad de las unidades experimentales, así como la homogeneidad de las características del sitio (un cuadrado de 36 m²) donde se ubicaron dichas unidades. Así, se aseguró que las nueve unidades experimentales correspondientes a los tres tratamientos con sus tres repeticiones estén sometidas a las mismas condiciones, básicamente de presión atmosférica, humedad, temperatura y luminosidad.

En el campo, para ubicar cada uno de los biodigestores se procedió mediante sorteo. Previamente se decidió identificar los sitios en donde más tarde fueron ubicadas las nueve unidades experimentales, designando y ordenándoles con las nueve primeras letras mayúsculas del abecedario; comenzando de izquierda a derecha por la fila superior, luego, de derecha a izquierda la segunda fila y, finalmente de izquierda a derecha la tercera fila, como se indica en el cuadro:

A	B	C
F	E	D
G	H	I

Discrecionalmente se decidió que el tratamiento con excretas de chancho (t1) correspondería a la serie del uno al tres, mientras que el tratamiento con excretas de cuy (t2) incluiría a la serie del cuatro a seis, dejando al tratamiento con la mezcla de excretas los números del siete a nueve. Luego se hicieron nueve papeles en cada uno de los cuales se escribió las referidas letras, colocándoles doblados en un recipiente; mientras tanto en otro recipiente se colocaron otros nueve papeles (del 1 al 9) que representaban a los biodigestores también enumerados del 1 al 9.

En el sorteo, una tercera persona extrajo al azar y simultáneamente un papel de cada recipiente, determinándose los pares, así el primer par sorteado correspondió a la letra D y al número cuatro; este procedimiento se repitió hasta sortear el último par de papeles, lo cual permitió ubicar aleatoriamente en el campo los biodigestores numerados y oportunamente cargados ya con la mezcla de agua y excretas, quedando finalmente distribuidos de la siguiente manera:

A5	B1	C3
F7	E9	D4
G2	H8	I6

De esta manera, las unidades experimentales 1, 2 y 3 correspondieron a los biodigestores del tratamiento con excretas de chancho (t1), las unidades experimentales 4, 5 y 6 se refieren al tratamiento con excretas de cuy (t2) y los números 7, 8 y 9

correspondieron al tratamiento con la mezcla de los dos tipos de estiércol en estudio (t3).

3.3.4 Características del experimento

Como ya se ha especificado, el experimento constó de tres tratamientos, con tres repeticiones de cada uno de ellos. Las nueve unidades experimentales consistieron en instalaciones diseñadas y construidas con bidones de plástico, acoplados con tubería, adaptadores y varios accesorios necesarios para obtener los biodigestores de 60 litros de capacidad, ubicados en el mismo sitio, en igualdad de condiciones atmosféricas.

En los biodigestores, la materia orgánica (excretas) mezclada con agua se cargó por una sola vez. Este sistema de carga por una sola vez denominado también tipo batch o discontinuo se suele aplicar en fincas agroecológicas en Íntag y otros sectores rurales para la elaboración de otros tipos de biol, en ocasiones enriquecidos con forraje de leguminosas, sulfatos, roca fosfórica y otros compuestos, para lo cual se emplean tanques de 200 litros.

Por su tamaño (60 litros), los biodigestores construidos directamente para el ensayo facilitaron el manejo del experimento de una manera adecuada. Una variación del biodigestor tipo batch común, consistió en incluir una segunda llave de paso en la parte lateral, dispositivo que permitió extraer periódicamente las muestras del sustrato líquido que luego fueron llevadas al laboratorio para los distintos análisis.

3.3.5 Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó mediante el esquema del Análisis de Varianza ADEVA relativo al caso del Diseño Completamente al Azar (DCA).

Cuadro 3: Esquema del ADEVA

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD
Total	8
Tratamientos	2
Error experimental	6

3.3.6 Variables a evaluarse

Variables dependientes

En cada uno de los tres tratamientos se evaluaron las siguientes variables:

- DQO
- Temperatura
- pH
- Contenido de macroelementos (N, P, K) del biofertilizante líquido
- Nivel de patógenos en la materia orgánica fresca (estiércoles) y, en el bioabono líquido (biol)

- Tiempo de retención
- Cantidad de bioabono líquido

3.4 Manejo específico del experimento

El manejo específico del experimento siguió un proceso lógico y secuencial que comprendió algunos pasos preliminares y otros propiamente de ejecución de las actividades, mismas que se resumen a continuación:

3.4.1 Construcción de biodigestores

Los biodigestores se construyeron de la siguiente manera y de acuerdo al esquema de la siguiente figura:

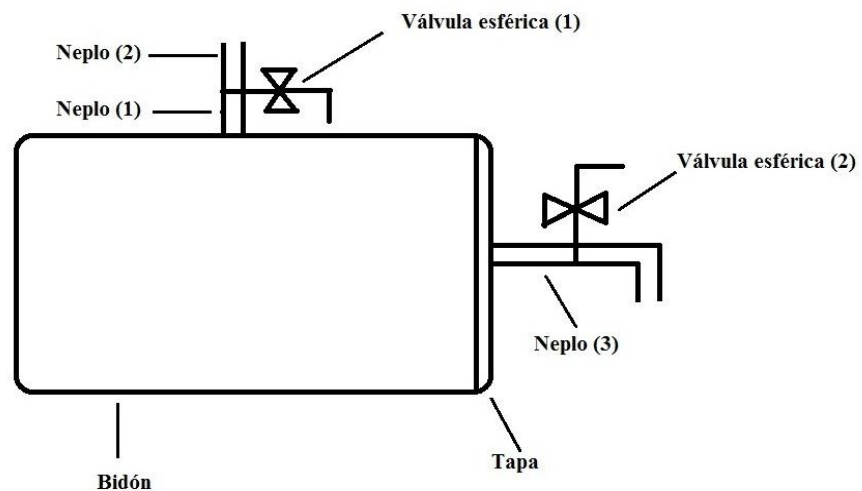


Figura 4: Esquema del biodigestor construido
Elaboración: Autores

En la parte media del bidón de 60 litros se realizó un orificio con el fin de acoplar los adaptadores, neoplos galvanizados y válvulas o llaves de paso de ½ pulgada para la posterior salida y quema del biogás. De igual forma se perforó la tapa del bidón para acoplar el siguiente dispositivo que luego sirvió para la extracción de las muestras líquidas.

En la parte final, se procedió a ajustar todas las piezas para facilitar un adecuado cerrado hermético, para lo cual se comprobó su impermeabilidad introduciendo aire al biodigestor, cerrando las llaves de paso y buscando posibles fugas. Comprobado esto el biodigestor quedó listo para su uso, lo cual se visualiza en las figuras siguientes.



Fotos 4 y 5: Vista de los biodigestores terminados

3.4.2 Colección y acondicionamiento de la materia orgánica

El procedimiento de recolección de la materia orgánica o biomasa compuesta por excretas de chanco y cuy se la hizo de la siguiente manera:

En su gran mayoría, las excretas de chanco se recolectaron en la finca del señor Pedro Bolaños, ubicada en la comunidad El Paraíso y otra parte en la granja del Colegio Técnico Agropecuario José Peralta ubicada en la cabecera parroquial de Peñaherrera. La materia orgánica de chanco de los dos sitios referidos estuvo en estado fresco.

Las excretas de cuy se recolectaron en la finca de la Sra. Rosa Gómez y del Grupo de Mujeres de la Comunidad El Paraíso. El estiércol de cuy obtenido de estas fincas fue también fresco.

El mismo día se procedió a homogenizar los estiércoles de chanco y de cuy, obviamente por separado; se retiraron las partículas grandes de los estiércoles y en el caso de las excretas de cuy fue necesario realizar el mullido y tamizado para extraer restos del pasto o hierba existentes. Las excretas permanecieron sobre un plástico y bajo sombra durante dos días para favorecer la homogenización y lograr una humedad más uniforme en los estiércoles, removiendo las excretas por dos ocasiones diarias, tanto en la media mañana como en la tarde.

3.4.3 Instalación del ensayo

El ensayo se lo ubicó en la propiedad de Luis Robalino en un área aproximada de 36 m², previamente limpiada y donde se colocaron bloques de cemento de 15 cm en el piso y sobre estos los biodigestores a efectos de que no tengan contacto con la tierra y no puedan ser afectados por la temperatura. Luego se llenó cada biodigestor de la siguiente manera:

- 1) En los biodigestores designados como 1, 2 y 3 se colocó 6 kg de estiércol de chanco y 24 kg de agua en cada uno;
- 2) En los biodigestores signados como 4, 5 y 6 se colocó 6 kg de estiércol de cuy y 24 kg de agua.
- 3) En los biodigestores con los números 7, 8 y 9 se colocó 3 kg de estiércol de chanco, 3 kg de estiércol de cuy y 24 kg de agua.

Como se deduce, la proporción entre agua y estiércol fue de 4:1.

Luego se homogenizó el contenido de cada uno de los biodigestores, se procedió a taparlos herméticamente; para después pesarlos en una báscula y ser ubicados en el terreno.

3.4.4 Toma de muestras

Para la toma de muestras del ensayo se realizó un cronograma de recolección tal como lo muestra el siguiente cuadro.

Cuadro 4: Cronograma de muestreo

VARIABLES A MEDIR	AÑO 2011										
	ENERO						FEBRERO				
	4	9	14	19	24	29	3	8	13	18	23
DQO	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Temperatura											
pH	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Reconteo Coliformes. (materia fresca)	X										
Reconteo. Coliformes. (biofertilizante)											X
Cantidad N, P, K (materia fresca)	X										
Cantidad N, P, K (biofertilizante)											X

Las muestras de cada una de las unidades experimentales se recolectaron siguiendo el cronograma definido.

El día del arranque del ensayo se tomaron las muestras del sustrato líquido constituido por estiércol fresco y agua.

- 1) Agitación de los biodigestores para homogenizar la mezcla;
- 2) Extracción y pesado de 200 ml de muestra líquida aproximadamente en un vaso de precipitación graduado;
- 3) Medición de la temperatura y el pH;
- 4) Disposición de las muestras líquidas en los frascos bien cerrados y;

- 5) Transporte de las muestras en un termo porta-vacuna con hielo hacia el laboratorio para su análisis respectivo.

El tiempo transcurrido desde la toma de muestras hasta el ingreso al laboratorio fue de 3 horas en promedio.

La obtención de muestras en las nueve fechas siguientes se realizó de la siguiente manera:

- 1) Eliminación de la humedad externa del biodigestor debida a la lluvia;
- 2) Pesado de los biodigestores en la báscula y reubicación en su sitio;
- 3) Agitación del biodigestor por dos minutos aproximadamente;
- 4) Apertura de la válvula inclinando el biodigestor y recolección de menos o más 200 ml de muestra en un vaso de precipitación graduado;
- 5) Medición de la temperatura y el pH;
- 6) Envasado y cerrado en los frascos y;
- 7) Transporte de las muestras en un termo porta-vacuna con hielo hacia el laboratorio para su análisis respectivo.

A partir de los 10 días del inicio del proceso fermentativo, luego de la agitación correspondiente se procedía a verificar la producción de biogás, abriendo la llave superior del biodigestor y acercando la llama de una vela.

La toma de muestras concluyó a los 50 días, día en que siguiendo el mismo orden descrito anteriormente, se tomaron las muestras para llevarlas al laboratorio.

El biodigestor signado con el número 1 prendió a los 15 días por un lapso de 2 minutos, mientras que los biodigestores 2 y 3 encendieron a los 18 días y continuaron encendiéndose por minutos similares hasta los 45 días. Los biodigestores 4, 5 y 6, correspondientes al tratamiento fermentativo con excretas de cuy no encendieron en ningún momento, mientras que los designados como 7, 8 y 9 produjeron biogás a partir del día 20.

3.4.5 Análisis de laboratorio

DQO

Para la medición de la Demanda Química de Oxígeno DQO se procedió así:

- 1) Medición de 1,5 ml de la muestra líquida;
- 2) Se llevó a un tubo de ensayo que contenía la solución de digestión (Ácido sulfúrico, Dicromato de potasio y Nitrato de plata);
- 3) Se agregó 1 ml de agua destilada y se procedió a mezclar manualmente;
- 4) Se llevó a digerir en el digestor a 150°C por 2 horas;
- 5) Enfriamiento y trasvasado a un vaso de 100 ml;
- 6) Adición de dos gotas de ferroína y;
- 7) Titulación con sulfato amonio ferroso hasta que se provocó un cambio de color a rojo vino.

Temperatura y pH

Se realizó la medición con el medidor de conductividad marca Fisher, modelo Accument AP85 en el lugar del ensayo.

Nitrógeno

El proceso consistió en:

- 1) Medición de una muestra líquida de 50 ml;
- 2) Digestión en el bloque de digestión con 10 ml de ácido sulfúrico y 2 gr de mezcla sulfocrómica a 450°C hasta que la mezcla se torne de color verde transparente;
- 3) Se llevó el tubo de digestión al destilador por arrastre de vapor, permitiendo que 50 ml de hidróxido de sodio al 45% caigan sobre la mezcla inicial;
- 4) Destilación por 5 minutos;
- 5) Se recogió el vapor de amonio sobre ácido bórico al 3% contenido en un Erlenmeyer de 250 ml junto a 5 gotas de indicador de mezcla (rojo de metilo – verde de bromocresol) y;
- 6) Titulación con ácido sulfúrico 0,1 N hasta que provocó el cambio de color de verde a violeta.

Fósforo

- 1) Se midió 10 ml de muestra líquida en un tubo de ensayo;
- 2) Se agregó 1gr de sulfato de potasio;
- 3) Se llevó al digestor para la digestión a 150°C por dos horas;

- 4) Se filtró por una membrana de 45 μm ;
- 5) El filtrado se mezcló con 2 ml de solución de molibdato – vanadato;
- 6) Se dejó reposar por 10 minutos hasta que desarrolló el color azul y;
- 7) Se procedió a leer en el fotómetro la concentración.

Potasio

- 1) Se tomó 5 ml de muestra y se llevó a un vaso de digestión;
- 2) Se adicionó 5 ml de ácido nítrico y 2 ml de ácido fluorhídrico;
- 3) Se digirió la muestra en el horno de microondas por 2 horas;
- 4) Se dejó enfriar y se llevó la solución a un balón de 100 ml, aforando con agua purificada;
- 5) En el espectrofotómetro de absorción atómica, se preparó la curva de calibración con las soluciones estándares de potasio y;
- 6) Finalmente se midió su concentración.

Conteo de coliformes

- 1) Se tomó 10 ml de muestra;
- 2) Se disolvió en un frasco de 1000 ml que contiene 990 ml de agua de peptona y se homogenizó;
- 3) Se tomó 1 ml de esta solución con una micro - pipeta y se llevó a una placa petrifilm y se dejó incubar por 24 horas a 40°C.
- 4) Finalmente se realizó el conteo y los cálculos en función de la dilución.

Cantidad de biofertilizante

Se pesó al inicio del experimento los biodigestores con y sin sustrato. En las siguientes veces se procedió a pesarlos antes de la quema del biogás y cada 5 días, conforme al cronograma de la toma de 11 muestras de 200 ml aproximadamente por cada biodigestor. Estos datos obtenidos fueron anotados en el cuaderno de campo para luego realizar el procesamiento y cálculo final, obteniéndose por la diferencia del peso perdido tanto por la extracción sucesiva de las muestras como por la periódica quema del biogás.

Tiempo de retención

Dado que los biodigestores fueron cargados por una sola vez, el tiempo de retención se programó para 45 días, sin embargo para tener una noción de los tiempos de reacción se planificó observar y probar si los biodigestores quemaban el biogás, como un indicador físico de la generación de biogás. Esta prueba se la realizó a partir del décimo día, cuando algunos biodigestores permitían observar hinchazones.

El procedimiento consistió en abrir progresivamente la llave superior de salida del biogás y acercar el fuego de una vela, acción que periódicamente se realizó de acuerdo a la hinchazón observada. En los casos en que se constataba la quema del biogás se registraba el tiempo de duración. Finalmente, al observar que hubo biodigestores que quemaron hasta el día 49, se prolongó el tiempo de retención a 50 días para todos los biodigestores.



Foto 6: El biogás quemando en uno de los biodigestores

3.4.6 Costos del experimento y del biofertilizante

El experimento tuvo un costo estimado de 2785,80 dólares, cuyo detalle se encuentra en anexo correspondiente.

En cuanto al costo unitario de producción de biofertilizante, considerando las condiciones de uso y el tiempo de vida útil de los materiales empleados, se estimó el costo de 0,29 centavos de dólar de los Estados Unidos, conforme al anexo concordante.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

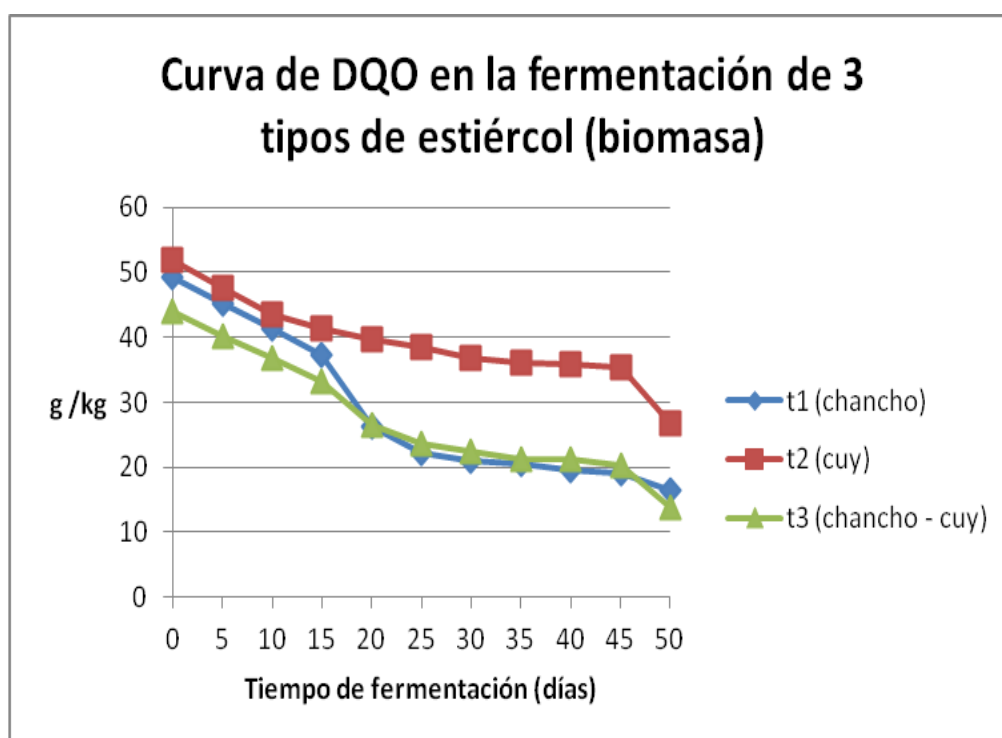


Gráfico 1: Comportamiento de la DQO en los 3 tratamientos

La curva de DQO del tratamiento con excretas de chancho (**t1**) muestra al arranque de la fermentación un valor de 49,36 g/kg, desciende notablemente a un valor de 22,21

g/kg a mitad del período de fermentación (25 días) y finalmente a los 50 días, que fue el tiempo total de retención, desciende hasta un valor de 16,46 g/kg conforme se visualiza en la figura. Expresado en porcentaje, la disminución de DQO en el t1, alcanza a 66,65%.

Mientras tanto, el tratamiento con excretas de cuy (**t2**), presentó una curva claramente por arriba de la anterior, con un valor de 51,96 g/kg al comienzo del proceso (día 0), 38,5 g/kg a mitad del período y concluyendo con un valor de 26,83 g/kg, reducción que en porcentaje equivale a 48,36%. La disminución porcentual de DQO en la fermentación de excretas de cuy es 18,29% menos eficiente que en la fermentación de excretas de chanco.

El tercer tratamiento referido a la fermentación con la mezcla de los estiércoles de chanco y cuy (**t3**) en iguales proporciones, mostró una curva relativamente similar al tratamiento con estiércol de chanco (t1). Los datos obtenidos indican que en el día 0 de la fermentación se partió con un valor de 44,05 g/kg, un valor intermedio de 23,77 g/kg a los 25 días y concluyó en 13,77 g/kg. En términos de porcentaje, se tiene una conversión o reducción de la DQO de 68,74%. Cabe referir que según la experiencia de la fundación CIPAV de Colombia refiere porcentajes de remoción de DQO mayores a 85%. Es pertinente subrayar que el gráfico 1, se entiende que a menor valor de la DQO, la eficiencia en la conversión de materia orgánica a biogás es mayor.

Mediante el análisis estadístico, específicamente a través del Análisis de Varianza ADEVA y del cálculo del Valor o Factor de Contraste (F_c) se obtiene que $F_c = 16,17$ y $F = 5,14$ al 95% de probabilidad (0,05% de error) y 10,92 al 99% de probabilidad (0,01% de error).

Para determinar el nivel de confianza o probabilidad de incidencia de los tratamientos, cabe recordar que cuando F_c es $> F$, los tratamientos o la variable independiente (VI) es el factor que más influye sobre la variable dependiente (VD) con un 95 y 99% de probabilidad respectivamente, precisando que los valores de F se obtienen de la Tabla de Fisher. De ahí entonces, como F_c (16,17) es mayor que F (5,14 y 10,92); se concluye que las diferencias de DQO entre tratamientos son significativas (probabilidad del 95 y 99%) con lo cual se confirma la hipótesis referida a que la DQO sería diferente dependiendo de cada tratamiento.

Con el objeto de comparar las medias de cada tratamiento mediante la Prueba de Tukey, se ordenó las medias de mayor a menor y se calculó la diferencia absoluta entre ellas para confrontarla con los valores de la Tabla de Tukey, obteniéndose que: t_3 vs. $t_1 = 2,46$; t_3 vs. $t_2 = 20,72$; t_1 vs. $t_2 = 18,26$, mientras que los valores de la Tabla de tukey son T al 0,05% (3,46) y al 0,01% (5,24)

Al ser 2,46 la diferencia de las medias de t_3 vs. $t_1 < T$, los 2 tratamientos son iguales y a la vez los mejores en cuanto a la DQO, recordando que según la bibliografía, la DQO es una forma de medir indirectamente la concentración de materia orgánica en un

sustrato líquido, correlacionando que la DQO eliminada corresponde a la conversión en gases por el principio de conservación de la materia.

En cambio, al ser 20,76 y 18,26 las diferencias de las medias de t3 vs. t2 y t2 vs. t1 > T, se constató una diferencia altamente significativa de t3 y t1 frente a t2, por lo que t2 es menos eficiente.

Por su parte, el proceso fermentativo del estiércol de cuyes (t2) fue el menos adecuado por el comportamiento de la DQO, lo cual también se complementaría con 2 hechos adicionales: **el primero**, relacionado a que ninguno de los 3 biodigestores con estiércol de cuy (t3) generó biogás (generalmente compuesto en su mayoría por metano) capaz de encender o quemar al menos por unos instantes y, **el segundo**, porque al final del proceso fermentativo, el número de coliformes fecales en t2 registró un crecimiento muy evidente en lugar de una disminución obvia, propia de una fermentación anaerobia metanogénica, sobre lo cual se ampliará más adelante en la parte correspondiente a la variable recuento de coliformes.

En la fermentación de la mezcla de las 2 excretas y de la de chanchos, en términos de conversión de materia orgánica en biogás, se destaca que las excretas de chanco claramente contribuyen o aportan a que se produzcan procesos fermentativos anaeróbicos más eficiente.

Especial atención merece el hecho de que las excretas de cuy provocaron un proceso de fermentación muy atípico para la generalidad de los procesos anaeróbicos. Al inicio del

planteamiento del proyecto se tenía la premisa de que la fermentación anaeróbica del estiércol de cuyes se enmarcaría en lo que la bibliografía refiere para una numerosa lista de residuos: estiércoles de diversas especies, purines, residuos domésticos, restos de cosechas, residuos de frutas, celulosa, residuos de la agroindustria, entre otras.

Durante el desarrollo y monitoreo del ensayo, se observó notables diferencias físicas externas de los biodigestores cargados con excretas de cuy, así por ejemplo los bidones o tanques adaptados como biodigestores, en lugar de inflarse por efectos del gas a producirse virtualmente en el interior, dejaban notar hendiduras, mientras todos los demás biodigestores se hinchaban con el pasar de los días. Al final de la fermentación, se detectó también que las excretas de cuy dieron como resultado un tipo de biofertilizante con un olor fuerte similar al de la materia fresca.

La explicación que preliminarmente se dispone es la aseveración de un experto en la elaboración de biofertilizantes. Restrepo, Jairo (consulta personal 18.12.2011), refiere que si la fermentación anaeróbica de las excretas de cuy no generó biogás común, simplemente obedece a que en el sistema digestivo de los cuyes no existen bacterias metanogénicas, las que juegan un papel importante en la formación de metano y otros gases durante una de las fases de la fermentación anaeróbica.

Bajo ese criterio, se sugiere la probabilidad de que esa sea la razón por la que el proceso de fermentación de excretas de cuy tuviera un comportamiento muy distinto en varios aspectos. Cabe entonces el planteamiento de futuros ensayos que aborden el comportamiento de las excretas de cuy sometidas a fermentación anaeróbica.

4.2 Temperatura

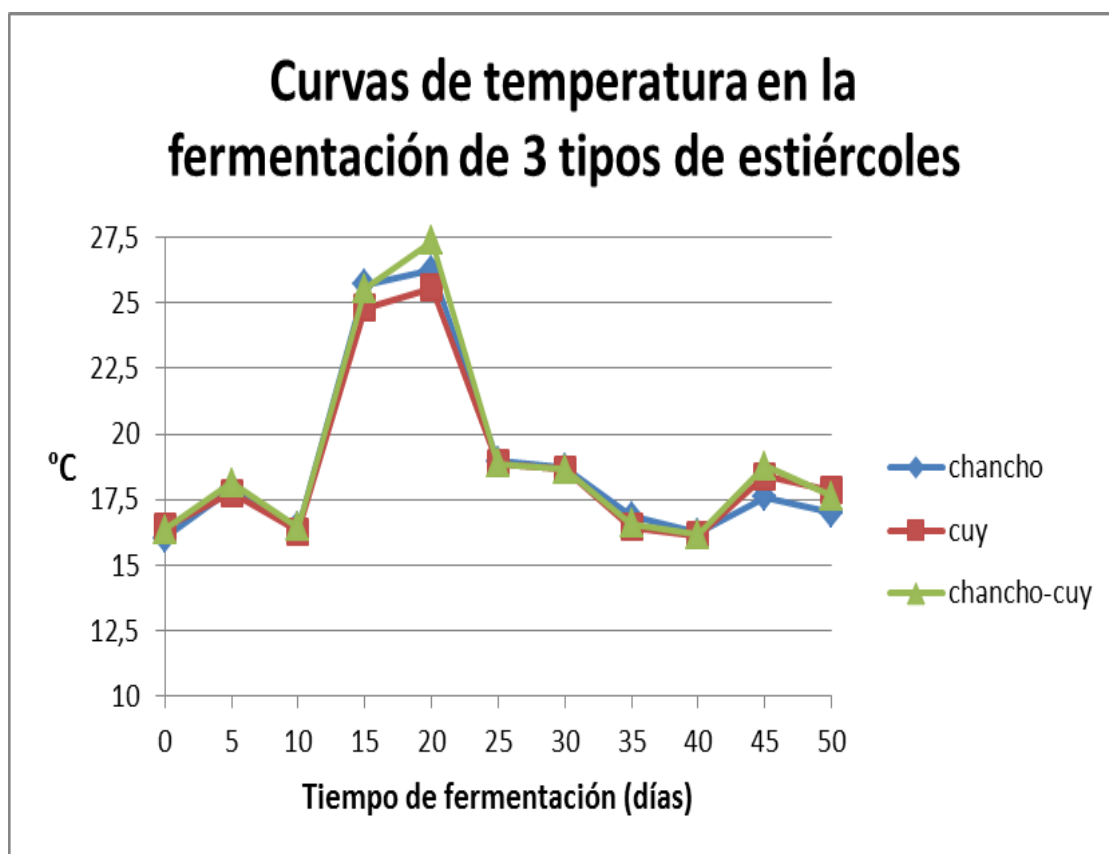


Gráfico 2: Comportamiento de la temperatura en los 3 tratamientos

El comportamiento de la variable temperatura en correlación a los procesos fermentativos de los tres tratamientos mantiene a primera vista una similitud. Desde esa primera apreciación, lo que cabe señalar es que en los tres casos, los procesos de fermentación comienzan con un valor alrededor de 16°C, a los 20 días ascienden a una temperatura pico de 27°C y al final, concluyen con una temperatura de menos o más de 17,5°C.

Una vez realizados el ADEVA y la Prueba del Factor de Contraste, se obtiene que $F_c = 3,24$ y $F = 5,14$.

Entonces, bajo los mismos criterios estadísticos utilizados en el análisis de la variable anterior, cuando F_c es $> F$, los tratamientos son el factor que más influye con un 95 y 99% de probabilidad sobre la variable dependiente. Ahora, como F_c (3,24) no es mayor que F (5,14 y 10,92), se interpreta que los tratamientos o variable independiente VI (en este caso el tipo de estiércol), si bien es lo que más influye sobre la variable dependiente (temperatura) no alcanza a proporcionar una certeza o probabilidad del 95 y peor del 99%, por lo que en cuanto a las diferencias de temperatura entre tratamientos, el resultado final muestra que la hipótesis no se cumple.

De acuerdo a la experiencia propia y a la revisión de otras experiencias, generalmente las temperaturas que se registran en procesos de fermentación relativamente similares, son mayores. En general la fermentación metanogénica registra rangos mayores de temperatura, pudiendo llegar incluso a valores menos o más de 50°C , no así en este caso que en su pico máximo alcanzó apenas $27,5^{\circ}\text{C}$.

En cuanto a estas temperaturas relativamente bajas, se señalan dos hechos o situaciones presentadas que pueden tener relación: la primera, relacionada a que el ensayo fue instalado y manejado durante el período entre el 04 de enero y 23 febrero de 2011, temporada muy fría debido al marcado invierno que azotó a la Zona de Íntag y en general a todo el país y; la segunda relativa al tamaño y consecuente volumen de los biodigestores (60 litros), lo cual presupone o sugiere que los cuerpos más pequeños

pueden ser más fácilmente enfriados por efecto de la temperatura ambiental. De acuerdo a una serie de datos tomados en campo durante el ensayo, se refiere una temperatura ambiental promedio de 17°C.

Probablemente con temperaturas ambientales más altas, las curvas de temperatura igualmente se elevarían correlativamente y se mejorarían los procesos de fermentación. En futuros casos se podrían ensayar algunas medidas para elevar la temperatura exterior e interior de los biodigestores. Una opción podría ser por ejemplo, cubrir a los biodigestores de la lluvia o ubicarlos bajo plástico tipo invernadero para lograr mayor retención de calor.

Por otra parte, la caída de la temperatura de todos los tratamientos obedece también a que se trabajó biodigestores tipo batch (una sola carga), se sugiere entonces evaluar la temperatura en sistemas de flujo continuo o semicontinuo, con el objeto de determinar un eventual comportamiento más estable de la temperatura, con lo cual se mejoraría la eficiencia en la producción de biofertilizantes.

En otros trabajos se podría considerar también la determinación de la temperatura más óptima para degradar la materia orgánica relacionándola con la DQO que permite monitorear la eficiencia en la conversión a biogás y con la descontaminación de coliformes fecales por ejemplo.

4.3 Variación del pH

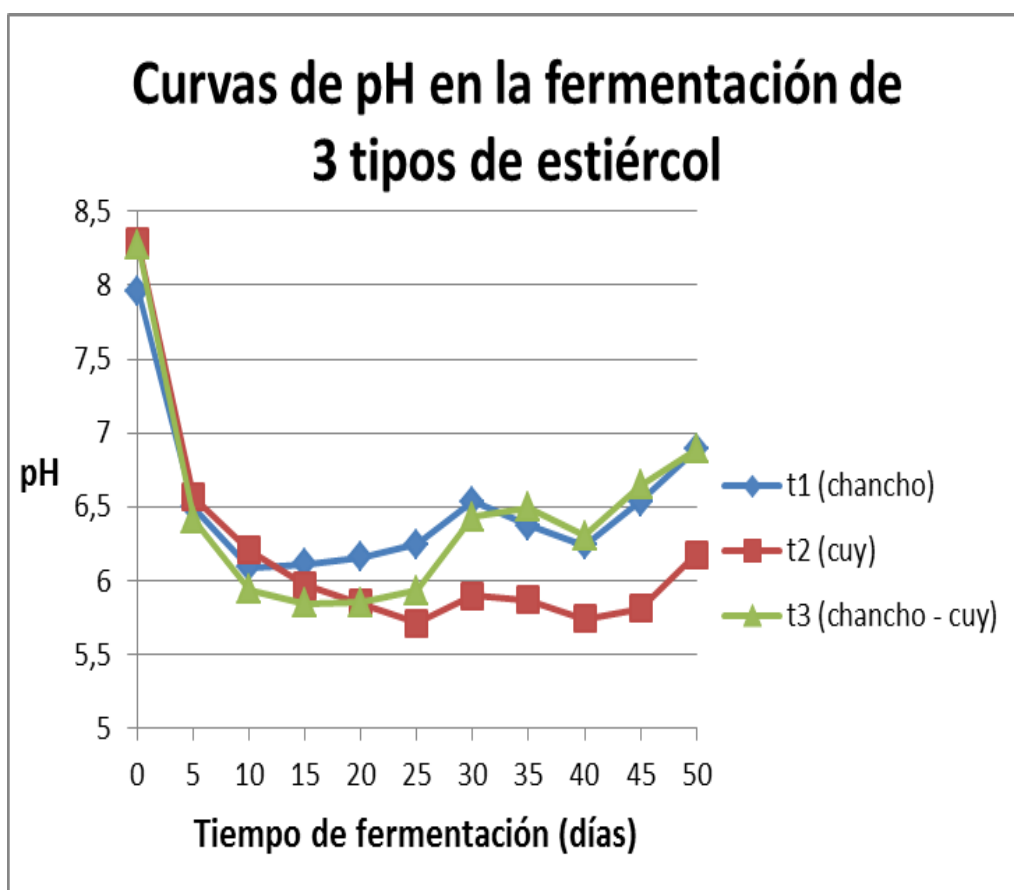


Gráfico 3: Comportamiento del pH en los 3 tratamientos

La variación de las curvas de pH de cada tratamiento, en términos generales, muestra que los tres tipos de biomasa al arranque de la fermentación registran valores ligeramente alcalinos, alrededor de 8, es decir un punto por encima de la neutralidad (7); luego los tres tratamientos en forma similar muestran una drástica caída en las primeras 2 semanas (a los 10 y 15 días) a valores alrededor de 6 (un punto por debajo de la neutralidad).

En los siguientes 15 días t1 (fermentación de excretas de chanco) y t3 (fermentación de la mezcla chanco-cuy) experimentan una variación diferenciada con respecto a t2 (fermentación con estiércol de cuy). Cabe subrayar, que mientras t1 y t3 muestran una ligera subida (de 6 a 6,5) entre los 15 y 30 días, t2 en cambio sigue mostrando una disminución leve de pH, llegando a su valor mínimo de 5,71 a los 25 días.

Luego, entre los 30 y 40 días, t1 y t3 experimentan una ligerísima disminución (de 6,5 a 6,3) pero a los 50 días terminan en 6,89 valor muy cercano a 7. Por su parte t2 correspondiente al estiércol de cuy, si bien entre el día 25 y 30 sube levemente, pero al final termina con un pH cercano de 6,17.

Respecto del comportamiento de las curvas de pH en este tipo de fermentaciones, la bibliografía en general señala que efectivamente en un inicio se registran disminuciones de pH, luego nuevamente se va estabilizando hacia la neutralidad. De hecho, el comportamiento de t1 (estiércol de chanco) y t3 (mezcla de estiércoles chanco-cuy) se ajustan más a esta tendencia, mientras que el biofertilizante de estiércol de cuy (t2) se queda con un valor ligeramente ácido.

Realizado el ADEVA y la prueba del Valor de Contraste (F_c), se tiene: $F_c = 1,38$ y $F = 5,14$ (0,05) y $10,92$ (0,01). De ahí que, como F_c es $< F$, en este caso F_c (1,38) $< F$ (5,14 y 10,92) se interpreta que la variable independiente VI, en este caso el tipo de estiércol, es el más influyente en las diferencias de pH pero no con un nivel de probabilidad del 95 y 99% con lo cual se niega la hipótesis.

Este comportamiento diferente del pH en el tratamiento de excretas de cuy, podría, al igual que en las variables anteriores, podría relacionarse al tipo de fermentación no metanogénica experimentada, ya que si bien es restringida la información escrita sobre la fermentación del estiércol de cuyes, por la referida conversación personal con Restrepo, un experto en abonos fermentados y biofertilizantes líquidos, se recuerda la eventualidad de que dichas excretas no contendrían cepas de bacterias metanogénicas, explicándose la causa probable por la que no se generó ninguna biogás combustionable alguno, mientras que al mezclarlo con otros estiércoles como chancho se produciría la inoculación de microorganismos metanogénicos que a la postre viabilizan la fermentación anaeróbica metanogénica.

Por lo expuesto, en torno a la fermentación controlada de excretas de cuy, se presentan varias inquietudes y preguntas que se deberían tratar de responderlas en próximos estudios.

4.4 Macroelementos (N, P y K)

Al evaluar la variación de estos tres macroelementos, desde el estiércol hasta la conversión en biofertilizante, se mantiene constante cierta similitud de comportamientos entre t1 y t3, e igualmente la diferencia en el comportamiento de la fermentación de estiércol de cuy (t2). En todo caso, cabe remitirse a las curvas de comportamiento de cada macroelemento.

4.4.1 Nitrógeno (N)

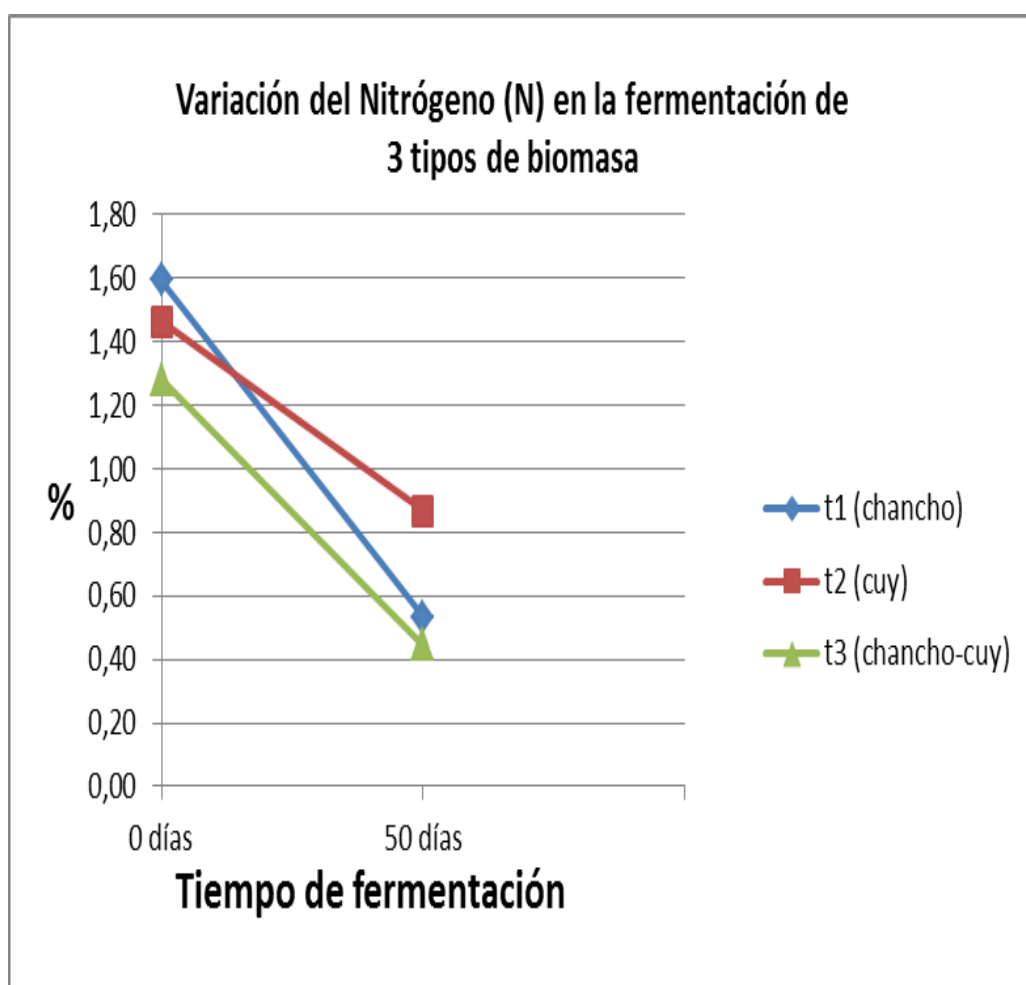


Gráfico 4: Comportamiento del contenido de Nitrógeno en los 3 tratamientos

El tratamiento con estiércol de chanco (t1) contiene 1,60% en su estado fresco y desciende a 0,53% en el biofertilizante; el tratamiento con estiércol de cuy (t2) en cambio parte con un valor de 1,46% en materia fresca y disminuye pero se queda en 0,87% en el biofertilizante final. El tratamiento fermentativo que más muestra una disminución del Nitrógeno –aunque muy leve- es el de la mezcla de estiércoles de chanco y cuy (t3), con porcentajes que van desde 1,28% al inicio (materia fresca) a

0,45% ya transformado en biofertilizante, es decir apenas 8 centésimas menos que el de chanco (0,53%).

Realizado el ADEVA y calculado el Factor de contraste Fc, se obtiene que: Fc es 1,41; mientras F como se sabe corresponde a 5,14 y 10,92 al 0,05% de error y 0,01 respectivamente. Entonces, al ser Fc (1,41) mayor que 1 pero menor que Fc (5,14 y 10,92) se deduce que a pesar de haberse determinado que la variación de N para los 3 tratamientos obedece al tipo de estiércol, no resulta significativa con una probabilidad de 95 y 99%, por lo tanto, se niega estadísticamente la hipótesis.

Según los resultados numéricos, se puede asumir que la fermentación de las excretas de cuy (t2) posibilita obtener menores pérdidas del nitrógeno total en el producto final que es el biofertilizante, comparándolo con los tratamientos t1 y t3, no obstante en otros ensayos convendría analizar el potencial de disponibilidad y asimilación del nitrógeno por parte de las plantas.

Convendría también estudiar que tan crítico o relevante resulta la disminución de este elemento en el biofertilizante líquido, teniendo presente que el nitrógeno siendo un gas se encuentra en la atmósfera y, de acuerdo al ciclo del nitrógeno se conocen otras formas de asimilación por parte de las plantas y otras formas de fijación del mismo hacia el suelo, como es el caso de las plantas leguminosas por ejemplo.

4.4.2 Fósforo (P)

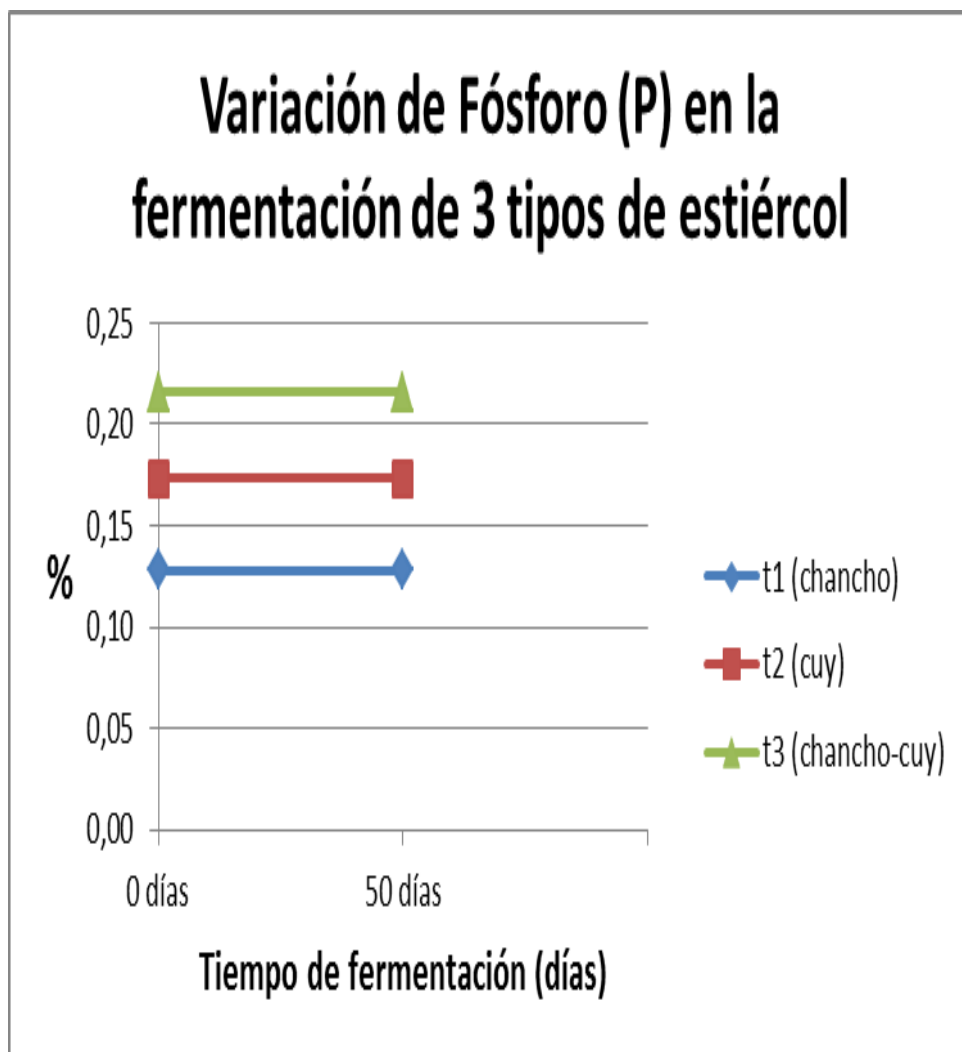


Gráfico 5: Comportamiento del contenido de Fósforo en los 3 tratamientos

El gráfico muestra una situación muy concreta, resumiéndose así que en los 3 tratamientos la cantidad de Fósforo (P) expresado en porcentaje se mantiene absolutamente estable desde el comienzo hasta la culminación de la fermentación. De todas maneras, cabe observar que los valores entre cada uno de los tratamientos muestran valores diferentes, aunque se trate de apenas unas centésimas por ciento. En

este sentido, se puede notar que la fermentación de la mezcla de estiércoles de chanco y cuy mantiene estable un valor de 0,22% desde la materia fresca hasta su transformación en biofertilizante; le sigue el biofertilizante a partir de estiércol de cuy con 0,17% y; el biofertilizante de estiércol porcino tiene menor cantidad de fósforo total con un valor de 0,13%.

No deja de ser interesante entonces el hecho de que la mezcla de los 2 estiércoles en estudio, en este caso en iguales proporciones, contenga valores superiores de fósforo que cada uno de ellos en forma independiente.

Con relación a la hipótesis, por simple análisis, al no haber variación desde el punto de arranque del proceso fermentativo anaeróbico hasta la finalización del mismo, no existe ninguna variación en la cantidad de este macroelemento. De todas maneras, se intentó realizar el ADEVA correspondiente, solo para reconfirmar que el ingreso de datos para el procesamiento simplemente no tiene sentido. Por tanto, al no determinar ninguna variabilidad entre tratamientos, se niega la hipótesis.

En la perspectiva de procurar obtener datos e información más precisa y útil en cuanto a la disponibilidad del Fósforo (P) en estos tres biofertilizantes, convendría estudiar mediante otras pruebas y análisis de laboratorio qué cantidad del fósforo referido se encuentra en una fase soluble, de fácil asimilación para las plantas.

4.4.3 Potasio (K)

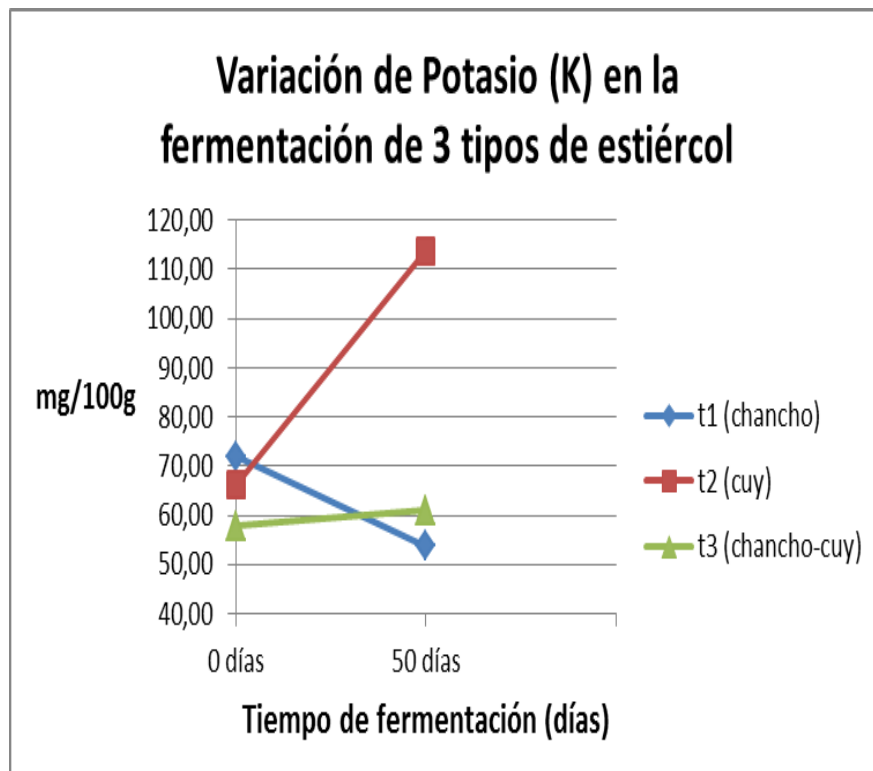


Gráfico 6: Comportamiento del contenido de Potasio en los tres tratamientos

De manera rápida, en cuanto al Potasio (K) se observa un comportamiento en referencia a las curvas de variación de los dos macroelementos anteriores (N y P) entre los tratamientos en estudio.

En el tratamiento (t1) correspondiente a la fermentación de estiércol de chanko se observa un descenso desde 71,97mg/100g a 53,67mg/100g de Potasio (K); mientras que en el segundo tratamiento (t2) correspondiente al estiércol de cuy se observa un aumento muy considerable de K pasando de un valor de 66,04mg/100g en materia fresca a 113,86mg/100g en el efluente o biofertilizante, evidenciándose que

prácticamente casi se duplica. Por su parte, en el caso de la fermentación anaeróbica de la mezcla chanco-cuy (t3) se registra un pequeño incremento de K que va desde 57,83mg/100g medido en materia fresca a 61,05mg/100g ya en el biofertilizante final.

Luego del ADEVA correspondiente y del cálculo del Factor de contraste F_c , se obtiene los siguientes valores $F_c = 12,91$ y $F = 5,14$ (0,05%) y $10,92$ (0,01%).

Entonces, al ser $F_c (12,91) > F (5,14 \text{ y } 10,92)$ se demuestra que la variable independiente (VI) referida al tipo de estiércoles fermentados es el factor que más influye con un 95 y 99% de probabilidad sobre la variable dependiente (VD) que en este caso se relaciona al contenido de Potasio (K).

A manera de resumen del estudio de los tres macroelementos primarios, las diferencias en el contenido de Nitrógeno (N) en la fermentación de los tres tipos de estiércoles (chancho t1, cuy t2 y la mezcla t3), si bien obedecen a los tratamientos, finalmente por la nula significancia al 95 y 99% de confiabilidad no son significativas.

En el caso del Fósforo (P), no hay absolutamente nada que dudar, simplemente la fermentación de los tres tipos de estiércoles no presentó ninguna alteración, cuya permanencia inalterable en el contenido del fósforo muestra una “curva” absolutamente estática, lo cual equivale a una negación de la hipótesis.

En cambio, en cuanto a la variación de las curvas de comportamiento de los procesos de fermentación anaeróbica, se determinó una significancia para el contenido de Potasio

(K), comprobandose la hipótesis de que debido a cada tratamiento el contenido de potasio muestra diferencias altamente significativas.

4.5 Conteo de coliformes

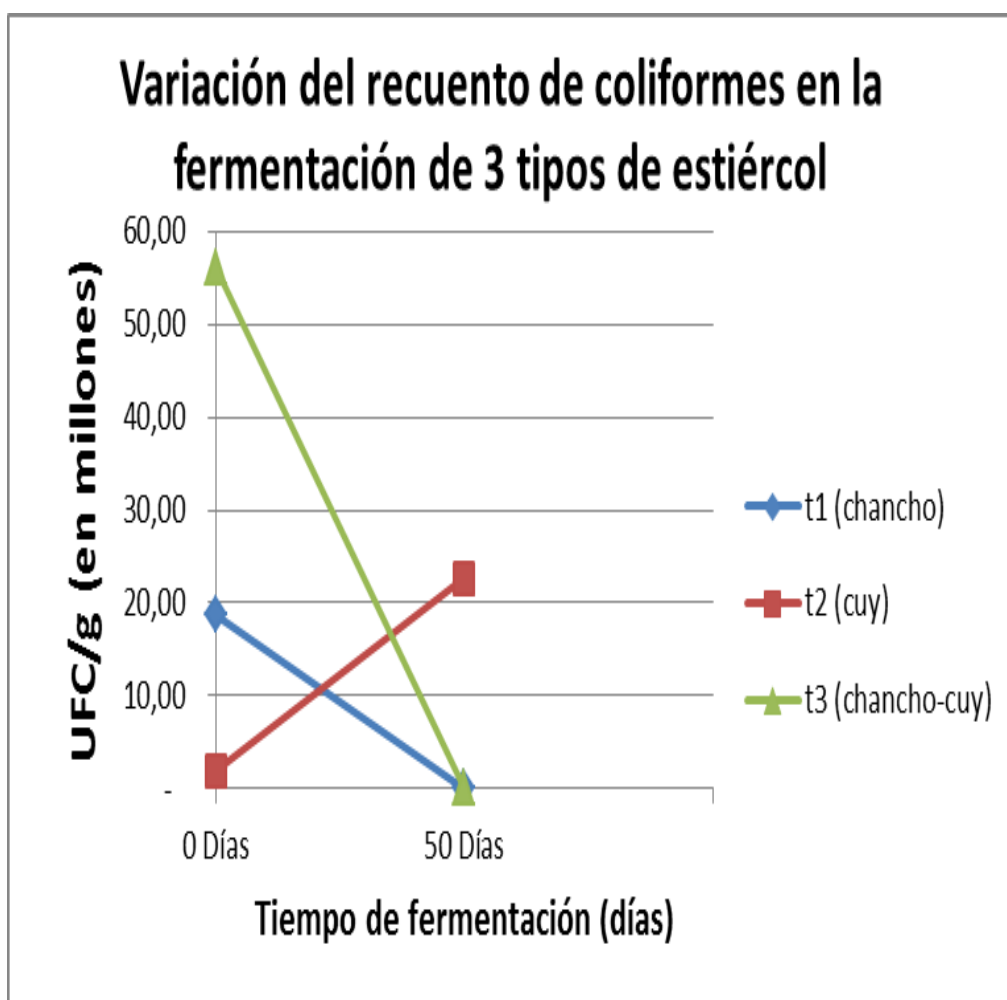


Gráfico 7: Comportamiento del contenido de coliformes en los 3 tratamientos

El estiércol de chancho (t1) sometido a la fermentación anaeróbica muestra una descontaminación drástica, disminuyendo de un nivel de 18,7 millones de UFC/g a

26000 UFC/g, mientras que el estiércol de cuy (t2) en su estado fresco curiosamente tiene un valor relativamente bajo de coliformes, esto es unos 2 millones de UFC/g, pero sufre un incremento brusco a 22,67 millones de UFC/g, lo cual hipotéticamente equivaldría a haberse multiplicado aproximadamente por 11.

Este indeseable crecimiento en vez de un descenso de microorganismos patógenos, plantea interrogantes que se debería procurar determinar en futuros ensayos, pero probablemente tenga relación al tipo de fermentación no metanogénica, de la que se viene refiriendo a lo largo de la exposición de estos resultados.

Por su parte, la mezcla de los 2 estiércoles (chanchocuy) registró en su estado fresco un valor alto de 56 millones de UFC/g, y mediante la fermentación anaeróbica disminuyó drásticamente a 44000 UFC/g en su estado de biofertilizante.

En términos estadísticos, luego de haber realizado el correspondiente ADEVA y cálculo de Fc, se reconfirma de manera tácita las diferencias entre los tres tratamientos. Los valores obtenidos son: $F_c = 27,72$ y $F = 5,14$ (0,05%) y 10,92%. Se interpreta entonces que al ser $F_c (12,91) > 1$ y $F_c (12,91) > F (5,14 \text{ y } 10,92)$ en efecto la hipótesis referida a que cada tratamiento influye directamente en la disminución de coliformes con una probabilidad de 95 y 99%.

Señalando que las diferencias absolutas de las medias son mayores que **T**: 3,46 (0,05%) y al 5,24 (0,01%), entonces realizada la prueba de Tukey para comparar entre tratamientos, por la mayor remoción de unidades fecales coliformes los resultados de t3

son altamente significativos siendo el mejor (99,92%), y aunque en porcentaje el resultado de t1 (excretas de chanco) es menor, no deja de ser interesante la disminución del 99,86% de coliformes fecales.

Los valores anteriores de disminución de patógenos coinciden en cierta manera con algunos autores como López que refieren valores superiores a 99%, mientras que Soria afirma la eliminación del 100% de unidades coliformes. Claro que, también hay autores que refieren remociones menores al 85% de unidades fecales coliformes.

En ambos casos se observa que la eficacia es muy cercana al 100%, permitiendo la obtención de biofertilizantes de buena calidad, ya que como se sabe los coliformes representan un riesgo para la salud humana, lo cual se constituye en un aspecto crítico y determinante a la hora de decidir el uso de biofertilizantes naturales a partir de excretas.

Considerando que temperaturas más elevadas mejoran los procesos de fermentación, resultaría interesante propiciar condiciones mayores a 30°C para procurar una mejor efectividad. Lamentablemente en t2 referente a la fermentación de excretas de cuy, se experimenta un incremento de UFC de más de 1000%. La búsqueda de respuestas a este extraño comportamiento de la fermentación de las excretas de cuy debe ser cuidadosamente estudiada en futuros experimentos.

4.6 Cantidad de biofertilizante

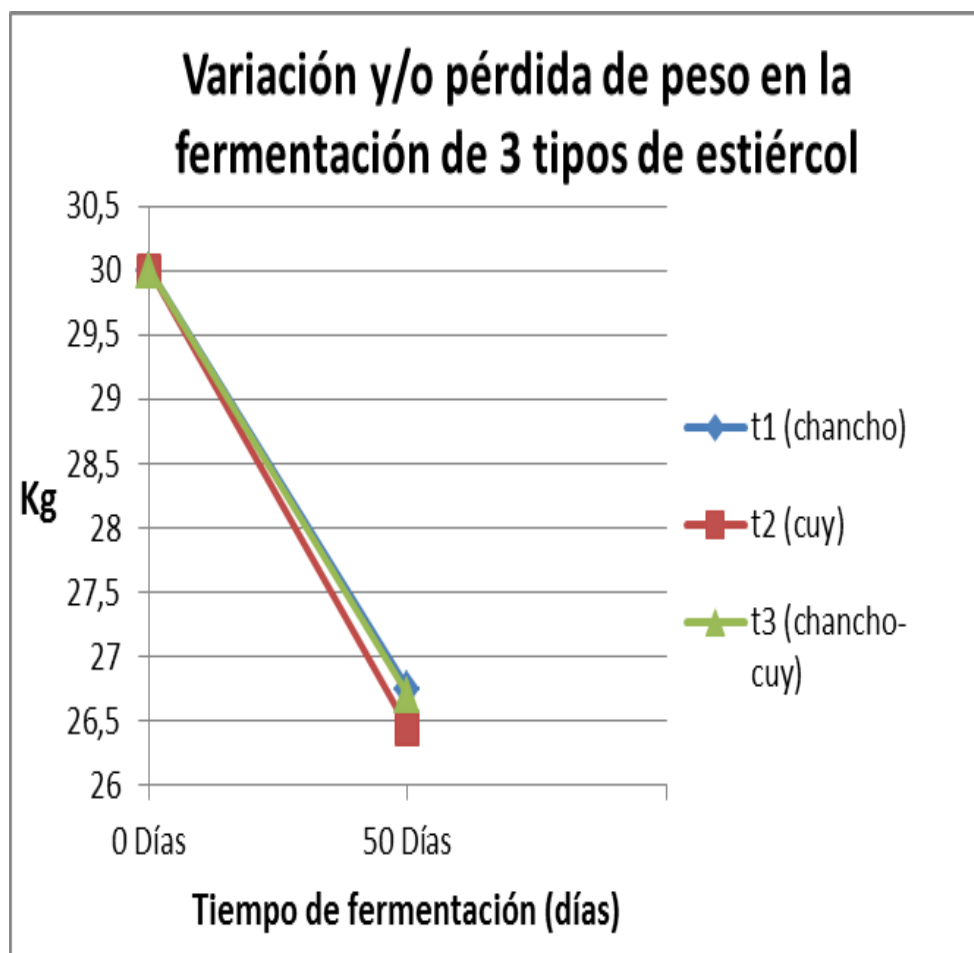


Gráfico 8: Rendimiento en peso del biofertilizante en los 3 tratamientos

Por idea inicial de los autores, la determinación de lo que ocurriría con la pérdida de peso de los tres tipos de biomasa o estiércoles, se planteó como una variable a ser estudiada, sin embargo, una vez concluido el experimento y de acuerdo al cuadro en análisis, a simple vista se aprecia que los pesos finales de los tres tipos de estiércol presentan valores similares de reducción.

Se debe tener en cuenta que las pérdidas de peso se deben, por una parte a la eliminación de gases, especialmente por la quema del metano de los biodigestores asignados a los tratamientos de excretas de chanco (t1) y la mezcla chanco-cuy (t3) y por otra parte, a la extracción de muestras (11 ocasiones), durante las que no siempre fue posible mantener uniformidad en las dosis extraídas en cada una de las 9 unidades experimentales.

4.7 Tiempo de retención

Sin excepción para todos los tratamientos se manejó un mismo tiempo de retención o de fermentación anaeróbica de la materia orgánica, el cual al final fue de 50 días.

De todas maneras, cabe referir que hay ciertos indicios para aseverar que la fermentación del estiércol de chanco (t1) fue más rápida en términos de generar pequeñas cantidades de biogás, el cual fue quemado por breves momentos (1 a 2 minutos/día) desde los 15 días hasta los 45 días, el cual puede verse como indicador de que se estaba produciendo una fermentación anaeróbica. Bien se podría decir, eventualmente, que a los 45 días culminó la fermentación anaeróbica o el proceso de degradación de la materia orgánica a base de excretas de chanco.

Como ya se dijo reiteradamente, la fermentación de estiércol de cuy (t2) no produjo en ningún momento biogás por tanto a pesar de las pruebas e intentos no se pudo quemar. Adicionalmente cabe puntualizar que mientras los biodigestores cargados con las

excretas de chanco y la mezcla con excretas de cuy, respectivamente, mostraban un hinchamiento, los biodigestores con excretas solamente de cuy mostraban hendiduras, lo cual era un indicio de que alguna anomalía ocurría en el proceso.

Mientras tanto, la fermentación de la mezcla de estiércoles de chanco-cuy (t3), mostró un retardo en el inicio de la generación de biogás posible de quemar, lo cual ocurrió el día 20 y se extendió hasta el día 49, por lo que se decidió concluir el ensayo en campo a los 50 días. Es decir entonces que la biodigestión de la mezcla referida se extendió hasta el penúltimo día, con lo cual se observa que la reacción anaeróbica de la mezcla fue relativamente más lenta.

4.8 Calidad de los biofertilizantes

Inicialmente, la calidad del biofertilizante se planteó como una variable más, pero constatándose que ésta no depende de un factor solamente, se sugiere un análisis integrado de las variables anteriores de acuerdo al siguiente cuadro, lo cual permite construir una noción más objetiva referida a la calidad.

Cuadro 5: Resumen de resultados de las variables por cada tratamiento

VARIABLES	TRATAMIENTOS					
	Fermentación con excretas de chancho (t1)		Fermentación con excretas de cuy (t2)		Fermentación con excretas de chancho-cuy (t3)	
DQO (remoción)	66,65%		48,36%		68,74%	
	<i>Diferencia entre tratamientos (Fisher)</i>					
	a		b		a	
Temperatura (promedio)	18,9		18,8		19,1	
	Diferencia entre tratamientos NO significativa (Fisher)					
pH (final)	6,89		6,17		6,89	
	Diferencia entre tratamientos NO significativa (Fisher)					
Nitrógeno	Inicial (%)	Final (%)	Inicial (%)	Final (%)	Inicial (%)	Final (%)
	1,6	0,53	1,46	0,87	1,28	0,45
	Diferencia entre tratamientos NO significativa (Fisher)					
Fósforo	Inicial (%)	Final (%)	Inicial (%)	Final (%)	Inicial (%)	Final (%)
	0,22	0,22	0,17	0,17	0,13	0,13
	Diferencias entre tratamientos NO significativa (Fisher)					
Potasio	Inicial (mg/100g)	Final (mg/100g)	Inicial (mg/100g)	Final (mg/100g)	Inicial (mg/100g)	Final (mg/100g)
	71,97	53,67	66,04	113,86	57,83	61,05
	<i>Disminución</i>		<i>Incremento</i>		<i>Leve incremento</i>	
	b		a		c	
Reducción de coliformes	99,86%		Incremento del 1000		99,92%	
	b		c		a	
Tiempo de retención	45 días		50 días		50 días	
Combustión de biogás (*)	Si		No		Si	
a, b, c Calificación con Prueba de Tukey						

Durante la investigación de la fermentación anaeróbica, se incluyó a la combustión del biogás (*) como un indicador físico que permite deducir que la presencia de llama evidencia la conversión de materia orgánica a biogás combustionable, de ahí que, si bien en el presente estudio no se evaluó estadísticamente, en la práctica se optó por

realizarlo -liberando y quemando el biogás- con la finalidad de tener una noción de la marcha de los procesos fermentativos de cada tratamiento.

En la lógica de avanzar en el análisis integrado de las variables, se optó por presentar y expresar los resultados de los procesos de fermentación anaeróbica de manera consolidada. De esta manera, se puede determinar comparativamente si los tratamientos producen una menor o mejor calidad de biofertilizante como producto final.

Del cuadro 5, se puede deducir que los tratamientos t1 y t3 presentan resultados consolidados interesantes, no obstante por la interrelación y suma de factores favorables (que se encuentran con negrilla), la mezcla de estiércoles de chanco - cuy (t3) permitió un proceso fermentativo mejor que los estiércoles de chanco (t1) y cuy (t2); consecuentemente la calidad del biofertilizante proveniente de la mezcla es mejor. En conclusión, se comprueba la hipótesis inicial en el sentido de que la fermentación de la mezcla de los estiércoles de chanco y cuy produce un biofertilizante de mejor calidad que cada uno independientemente.

5 CONCLUSIONES

- La **Demanda Química de Oxígeno DQO**, variable que expresa indirectamente la conversión o transformación de la materia orgánica a biogás, tiene correlación directa con el tipo de estiércol asignado a fermentar, pues los procesos de fermentación anaeróbica de las excretas de chanco, cuy y mezcla muestran diferencias altamente significativas en su comportamiento.
- En cuanto a la **DQO**, los tratamientos t3 (fermentación de excretas de chanco y cuy al 50:50%) y t1 (fermentación de excretas de chanco) son los mejores en cuanto a la demanda Química de Oxígeno.
- La **temperatura y pH** no mostraron una correlación directa con el tipo de biomasa o excretas a fermentar ya que estadísticamente no registraron diferencias significativas.
- La variación en el **contenido de los macronutrientes** en los procesos de fermentación anaeróbica de las excretas de chanco, cuy y mezcla no es significativa para el caso del Nitrógeno (N) y Fósforo (P).
- El **Potasio (K)** demuestra un comportamiento altamente diferente entre los tres tratamientos, concluyendo que el biofertilizante a partir de excretas de cuy t2, tiene

un mayor contenido de potasio en el biofertilizante por el evidente incremento equivalente a 172,41%

- La **descontaminación y remoción de los microorganismos patógenos fecales** presenta diferencias significativas por efectos de la fermentación anaeróbica de cada tipo de estiércol, concluyendo que la mezcla de excretas de chanco y cuy con el 99,92% de eliminación de unidades fecales coliformes es el mejor tratamiento.
- A pesar de la diferencia estadística entre t3 y t1, el **tratamiento con excretas de chanco (t1)** porcentualmente también alcanza una apreciable eliminación de patógenos fecales de 99,86%
- La **fermentación de excrementos de cuy** produjo el biofertilizante de peor calidad en términos de la presencia de coliformes debido a que en lugar de observarse una descontaminación, sufrió un incremento equivalente a 11 veces su valor inicial de unidades fecales coliformes.
- Del análisis estadístico, se determina que la **cantidad de biofertilizante** producido mediante la fermentación anaeróbica de los tres tipos de estiércol es una variable que experimenta mínimos cambios.
- En cuanto al **tiempo de retención** (entre 45 a 50 días), se concluye que los tres tratamientos tuvieron un comportamiento normal a pesar de la temperatura ambiental relativamente baja.

- La **diversificación o mezcla de varios estiércoles** tratadas mediante procesos de fermentación anaeróbica permite la obtención final de un biofertilizante de mejor calidad.
- El **valor nutritivo** y el costo estimado de 0,29 USD/litro de los biofertilizantes puede permitir acceder a los agricultores campesinos a opciones económicas para devolver a los suelos la fertilidad últimamente deteriorada por acción y efecto de la agricultura moderna basada en el uso de los agrotóxicos.
- La **fermentación de diferentes tipos de estiércoles** para la obtención de biofertilizantes es una actividad que tanto a pequeña como mediana escala representa una opción para dar valor agregado a los residuos y excretas ganaderas de las mismas fincas.

6 RECOMENDACIONES

- A la luz de los resultados obtenidos y conclusiones aprendidas en el presente trabajo, se plantean algunos aspectos a tenerse en cuenta:
- Replicar o adoptar la biodigestión de la mezcla de excretas de chancho y cuy, para lograr un mejor proceso fermentativo anaeróbico y obtener un fertilizante de mayor calidad.
- No replicar la fermentación con estiércol de cuy a menos que sea en mezcla con otros estiércoles o fuentes de biomasa que aseguren la inoculación de bacterias metanogénicas, necesarias para la generación de metano, indicador directo de una adecuada fermentación.
- Insistir en la evaluación de estas y otras variables que conduzcan a respuestas más claras y a la construcción de nuevos conocimientos en torno a la fermentación de estiércol de cuy exclusivamente. Se sugiere que otra variable a considerarse en estudios posteriores se oriente a determinar los tipos de bacterias (metanogénicas o no) presentes en el sustrato líquido con excretas de cuy únicamente.

- Incluir en futuros ensayos con estas y otras excretas el estudio de la solubilidad de los macroelementos N, P, K y otros elementos minerales.
- Modificar proporciones o porcentajes de uno u otro excremento en la fermentación de mezclas de excretas de chanco y cuy, con el propósito de observar las tendencias.
- A efectos de controlar mejor la temperatura, se sugiere usar plástico como cubierta “tipo invernadero”, para disminuir enfriamientos y lograr mayor efectividad en la descontaminación de microorganismos patógenos y en el proceso de fermentación en general.
- Que en las fincas campesinas que generalmente manejan chanchos y animales menores, se ensaye la mezcla de excretas incluyendo la del cuy en la alimentación y operación de los biodigestores tubulares de flujo continuo con el propósito de mejorar el rendimiento y la calidad del biofertilizante.
- Considerar el estudio de las temperaturas de fermentación más óptimas en biodigestores de flujo continuo.

7 RESUMEN

La investigación experimental se realizó en un predio ubicado en el barrio Zagalapamba de la cabecera Parroquial de Peñaherrera, cantón Cotacachi. Los análisis de laboratorio se realizaron en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales FICAYA de la Universidad Técnica del Norte y en el Departamento de Agua Potable del Municipio de Antonio Ante.

Se evaluaron comparativamente los procesos de fermentación anaeróbica de las excretas de chancho (t1), cuy (t2) y mezcla (t3) en biodigestores para la producción de biofertilizante líquido.

En la fase experimental, para los 3 tratamientos y 3 repeticiones se aplicó el diseño completamente al azar (DCA), implementando 9 biodigestores o unidades experimentales ubicados en el mismo sitio en igualdad de condiciones ambientales.

Las variables evaluadas en los 3 procesos de fermentación anaeróbica fueron: Demanda Química de Oxígeno (DQO), temperatura, pH, macroelementos del biofertilizante líquido como el Nitrógeno, Fósforo y Potasio, nivel de patógenos en la materia orgánica fresca y en el biofertilizante, tiempo de retención, cantidad y calidad del bioabono líquido.

Al comparar entre tratamientos las curvas de conversión de materia orgánica en biogás medida indirectamente a través de la DQO, el contenido de Potasio y la descontaminación por disminución de coliformes patógenos, mediante el ADEVA y la Prueba de Fisher se determinó que las diferencias de los tratamientos son significativas.

Luego, realizando la comparación de DQO entre tratamientos mediante la Prueba de Tukey, se estableció que la fermentación de la mezcla (t3) al remover un 68,74% de la materia orgánica y la fermentación de excretas de chancho (t1) con una remoción de 66,65% son tratamientos estadísticamente iguales y a la vez los mejores.

En cuanto al contenido de potasio, por el incremento registrado el mejor tratamiento es t2 (excretas de cuy).

Referente a la reducción de patógenos coliformes, la mezcla de estiércoles (t3) es el mejor tratamiento, seguido por el tratamiento fermentativo de las excretas de chancho. En ambos casos se acercan a un porcentaje de remoción de unidades fecales coliformes cercanos al 100%.

Las variables de pH, temperatura, macroelementos como el Nitrógeno y Fósforo y la cantidad de biofertilizante no resultaron significativas en ningún tratamiento.

Al realizar un análisis integrado de las variables evaluadas, el mejor tratamiento corresponde a la mezcla chanco-cuy (t3) por lo que se concluye que este proceso fermentativo anaeróbico produce un biofertilizante líquido de mejor calidad.

La fermentación anaeróbica de cuy es el peor tratamiento en términos de presencia de coliformes ya que extrañamente, en lugar de registrar una disminución sufrió un incremento muy elevado de alrededor del 1000%, lo cual debe ser investigado en futuros trabajos.

8 SUMMARY

Experimental research was carried out on a farm in the Zagalapamba neighborhood, in the Peñaherrera Parish center, Cotacachi County. Laboratory analyses were done at the laboratories of the School of Agriculture, Livestock and Environmental Sciences, FICAYA, of the Technical University of the North (Universidad Técnica del Norte) and the Water Department of the municipality of Antonio Ante.

Comparative anaerobic fermentation processes were evaluated for the excrement of pigs (t1), guinea pigs (t2) and a mixture of the two (t3) in biodigestores, said excrement intended for the production of liquid biofertilizer.

In the experimental phase, for 3 treatments and 3 repetitions, a completely random design (DCA) was applied, using 9 biodigestors o experimental units located at the same site and in the same environmental conditions.

The variables evaluated in the 3 anaerobic fermentation processes were: Chemical Oxygen Demand (DQO), temperature, pH, macroelements of liquid biofertilizer such as Nitrogen, Phosphorus and Potassium, level of pathogens in the fresh organic material and in the biofertilizer, retention time, quantity and quality of the liquid biofertilizer.

In comparing the conversion curves between the different treatments of organic matter into biogas measured indirectly through the DQO content of potassium and decontamination by decreasing pathogenic coliform, using ADEVA and the Fisher test, it was determined that the difference between the treatments are significant.

Then, making the comparison of DQO between treatments using the Tukey Test, it was determined that the fermentation of mixture (t3), which removed 68.74% of the organic matter, and the fermentation of pig manure (t1), which obtained an elimination of 66.65%, are statistically equal treatments, and simultaneously the best methods.

As for the potassium content, based on the registered increase, the best treatment is t2 (guinea pig excretion).

In reference to the reduction of coliform pathogens, the manure mixture (t3) is the best treatment, followed by fermentation treatment of the pig manure. In both cases the removal of fecal coliform units approaches 100%.

The variables of pH, temperature, macronutrients such as nitrogen and phosphorus and the amount of biofertilizer was not significant in any of the treatments.

In undertaking the integrated analysis of the evaluated variables, the best treatment corresponded to the mix of pig-guinea pig (t3) for which reason it is concluded that the anaerobic fermentation process produces a bio-fertilizer liquid of the best quality.

Anaerobic fermentation of guinea pig excrement is the worst treatment in terms of the presence of coliforms since, oddly enough, instead of registering a drop, the substance provided a very high increase of around 1000%, which should be investigated in future research projects.

9 BIBLIOGRAFÍA

ASOCIACIÓN DE CAMPESINOS AGROECOLÓGICOS DE ÍNTAG (ACAI).
2006 - 2010. Memorias de talleres sobre Agroecología y Biodigestores. Cotacachi –
Ecuador. Archivo oficina.

ASOCIACIÓN DE CAMPESINOS AGROECOLÓGICOS DE ÍNTAG (ACAI).
2007. Cartilla Producción de Biogás y Bioabono mediante Biodigestores en Fincas
Integrales Campesinas de la Zona de Íntag – Soluciones locales a problemas globales.
Cotacachi – Ecuador, 16 p.

ALKALAY, Daniel. s/año. Aprovechamiento de desechos agropecuarios para la
generación de energía. Valparaíso – Chile, Universidad Técnica Federico Santa María,
Ponencia en formato Word, 27 p. Descargado de
www.fao.org/docrep/006/AD098S/AD098S08.htm (consulta: 24.01.2012)

Botero, Raúl y Preston, Thomas. 1987. Biodigestor de bajo costo para producción
de combustible y fertilizante a partir de excretas: Manual para su instalación, operación
y utilización. PDF. España, 20 p.

CAMPERO, Oliver. 2007. Biogás en Bolivia: Programa Viviendas Autoenergéticas, publicado en Revista Futuros No.18, Vol. V. Descargado de <http://www.revistafuturos.info>

CAMPOS, Elena. 2001. Optimización de la digestión anaerobia de purines de cerdo mediante codigestión con residuos orgánicos de la industria agroalimentaria. PDF. Tesis Doctor Ingeniero Agrónomo. Barcelona – España, Universitat de Lleida, 318 p.

CENTRO DE ESTUDIOS PARA EL DESARROLLO Y LA PARTICIPACIÓN. 2008. Manual práctico de crianza de cuyes. PDF. Huaraz – Perú, 21 p.

CIPAV. s/año. Operación de biodigestores plásticos tipo CIPAV comparados con otros fabricados con materiales de mayor durabilidad como la geomembrana (PVC) HS500. Cali – Colombia, s/p Descargado de www.cipav.org.co (consulta: 21.09.2012)

COLQUE, Tomás et al. 2005. Producción de abono líquido natural. Puno – Perú, Estación Experimental ILLPA, 12 p.

DE LA TORRE, Rafael. 2008. Evaluación de la gallinaza como reemplazo a la harina de pescado en la elaboración de dietas aglomeradas para cuyes (*cavia porcellus*). Tesis de ingeniería agroindustrial. Ibarra - Ecuador, UTN, 134 p.

DIAS, Emerson y KRELING, Julio César. 2006. Evaluación de la productividad y del Efluente de Biodigestores suplementados con grasas residuales. Tesis de Ingeniería Agronómica. Guácimo - Costa Rica, Universidad EARTH, 73 p.

FELIPE-MORALES, Carmen y Moreno, Ulises. Junio, 2005. Artículo “Producción de biogás con estiércol de cuy” publicado en el Volumen 21 de la Revista LEISA. Lima – Perú. Descargado de <http://ileia.fourdigits.nl/magazines/latin-america/1-energia-en-la-finca/producción-de-biogás-con-estiércol-de-cuy>

FLOTATS, X., CAMPOS, E., BONMATÍ, A. 1997. PDF. Aprovechamiento energético de desechos ganaderos. Barcelona – España, Universitat de Lleida, 21 p.

FLOTATS, Xavier et al (2). 2011. PFD. Simulación del proceso de digestión anaerobia y producción de biogás. Barcelona – España, Centro IRTA-UPC, Universitat Politècnica de Catalunya, 7 p. Descargado de <http://web.automaticaeinstrumentacion.com/simulacion-del-proceso-de-digestion-anaerobia-y-produccion-de-biogas/>

GUEVARA, A. 1996. Fundamentos Básicos para el diseño de un biodigestor /PDF, descargado de www.cepis.org.pe/bvsacd/scan2/031042/031042.pdf

INEC. 2001. VI Censo de Población y V de Vivienda del Ecuador

INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE ENERGÍA
IDEA. 2007. Biomasa: digestores anaerobios. Madrid - España, IDEA, 43 p.

JUNTA PARROQUIAL DE PEÑAHERRERA. 2001-2002. Plan Participativo de Desarrollo Parroquial de Peñaherrera. Cotacachi – Ecuador, 139 p.

JUNTA PARROQUIAL DE PEÑAHERRERA. 2012. Actualización del Plan de Desarrollo y Elaboración del Plan de Ordenamiento Territorial. Cotacachi - Ecuador, 297 p.

LÓPEZ, Antonio. s/año. Valorización del estiércol de cerdo a través de la producción de biogás. PDF. Asociación Colombiana de Porcicultores, 35 p.

OLIVERA, Julio. 2001. Manejo Agroecológico del Predio – Guía de Planificación. Quito-Ecuador, Coordinadora Ecuatoriana de Agroecología CEA y Komunicarte, 308 p.

RAMÓN, Gustavo. s/año. Apuntes de clase del curso Seminario Investigativo VI. Antioquia – Colombia, Universidad de Antioquia. PDF, 38 p.

RESTREPO, Jairo. 2007. Biofertilizantes preparados y fermentados a base de mierda de vaca. Cali – Colombia, FERIVA S.A., 107 p.

RESTREPO, Jairo. 2011. Conversación personal en Cuellaje-Íntag-Cotacachi (18.12.2011)

ROMERO-MONCAYO, Ramón. 2005. Digestión anaeróbica y diseño de biodigestores. Ambato – Ecuador, Convenio Proyecto Manejo ecológicamente compatible de las cuencas del Tungurahua – UTA. PDF, 18 p.

SILVA, Marcelo. 2007. Análisis de costo beneficio del uso de biodigestores en fincas integrales campesinas en la zona Subtropical media de Íntag. Cotacachi –

Ecuador, Fundación Brethren y unida FBU y Aso. Campesinos Agroecológicos de Íntag ACAI, 20 p.

SOLARI, G. 2004. Ficha Técnica Conceptos de la Energía de la Biomasa, Tesis “Diseño de Construcción de un sistema de digestión Batch de 10 metros cúbicos para la producción de biogás en el Fundo Agropecuario de la Universidad Alas Peruanas”. Lima. Descargado de www.solucionespracticas.org.pe

SORIA, Manuel de Jesús et al. 2001. Producción de Fertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. PDF. México, 361 p. Descargado de www.redalyc.org (consulta: 23.01.2012)

TORRES, Nilton. 2005. Reportaje “El Gas de Cuyisea”. Entrevista a los agrónomos Carmen Felipe-Morales y Ulises. Lima-Perú, Periódico “La República”. Publicado el 27.feb.2005. Descargado de <http://www.larepublica.pe/27-02-2005/el-gas-de-cuyisea> (consulta: 01.09.2011)

URBINA, Alexandra y AVENDAÑO, Johana. 2010. Tecnologías sostenibles para el manejo de remanentes en granjas porcinas. Costa Rica. PDF. Ministerio de Agricultura y Ganadería y Fundación Swisscontac, 38 p. Descargado de www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00277. (consulta: 01.09.2012)

URRESTY, Celio. 2008. Tecnologías funcionales. Presentación en ppt. celiour@yahoo.com; descargado www.redemprendedoresbavaria.net

VARNERO, M. T. 2008. Producción de biogás y bioabono. PDF, descargado de www.agrimed.cl (consulta: 02.02.2011)

VARNERO, M. T., MUÑOZ, Susana y ZÚÑIGA, Roberto. s/año. Valorización agrícola de purines porcinos procesados con aserrín de pino. Santiago –Chile, Universidad de Chile, s/p. Descargado de <http://www.scielo.cl/scielo.php> (consulta: 28.11.2012)

www.es.wikipedia.org/wiki/biodigestor (consulta: 10.02.2011)

http://www.fundibeq.org/opencms/export/sites/default/PWF/downloads/gallery/methodology/tools/disenos_de_experimentos.pdf (consulta: 22.09.2012)

<http://ciencia.glosario.net/biotecnologia/fermentacion-10101.html> (consulta: 20.09.2010)

ANEXO 1

CUADRO DE DATOS, ADEVA Y COMPARACIONES

ANEXO 1.1

Cuadro 1.1.1		DATOS DEL DQO		
TRATAMIENTOS	OBSERVACIONES			MEDIA
	r1	r2	r3	
	g/kg	g/kg	g/kg	
t1 (chancho)	64,95	61,73	72,17	
t2 (cuy)	54,25	46,65	43,17	61,01
t3 (chancho - cuy)	71,18	65,04	69,98	

Cuadro 1.1.2		ADEVA DEL DQO				
ADEVA DEL DQO						
FV	GL	SC	MC	Valor de contraste FC	TABULADOS	
					0,05	0,01
Tratamientos	2	768,4	384,2	16,17**	5,14	10,92
Error	6	142,6	23,8			
Total	8	910,9				
Coeficiente de variación				17,49		

****Conclusión: Los tratamientos son altamente significativos**

Cuadro 1.1.3		COMPARACIONES	
TRATAMIENTOS	MEDIA	RANGOS	
t3(chancho - cuy)	68,74	a*	
t1(chancho)	66,28	a*	
t2(cuy)	48,02	b	

***Conclusión: Los tratamientos t3 (Chancho - cuy) y t1 (chancho) son los mejores**

ANEXO 1.2

Cuadro 1.2.1 DATOS DE POTASIO				
TRATAMIENTOS	OBSERVACIONES			MEDIA
	r1	r2	r3	
	mg/100g	mg/100g	mg/100g	
t1 (chancho)	10,48	4,28	40,15	
t2 (cuy)	-41,6	-32,59	-69,27	-7,50
t3 (chancho - cuy)	7,08	5,71	8,3	

Cuadro 1.2.2 ADEVA DEL POTASIO						
ADEVA DEL POTASIO						
FV	GL	SC	MC	Valor de Contraste	TABULADOS	
					0,05	0,01
Tratamientos	2	6824,56	3412,28	12,91**	5,14	10,92
Error	6	1586,33	264,39			
Total	8	8410,89				
Coeficiente de Variación				-297,11		

****Conclusión: Los tratamientos son altamente significativos**

Cuadro 1.2.3 COMPARACIONES		
TRATAMIENTOS	MEDIA	RANGOS
t2(cuy)	47,82	A
t1(chancho)	18,30	b
t3(chancho - cuy)	7,03	c

***Conclusión: El tratamiento t2 (cuy) es el mejor**

ANEXO 1.3

Cuadro 1.3.1 CUADRO DE DATOS DE COLIFORMES				
TRATAMIENTOS	OBSERVACIONES			MEDIA
	r1	r2	r3	
	UFC/g	UFC/g	UFC/g	
t1 (chanco)	2,00E+07	2,47E+06	3,20E+07	
t2 (cuy)	-7,50E+06	-3,52E+07	-1,93E+07	1,78E+07
t3 (chanco - cuy)	5,30E+07	4,99E+07	6,50E+07	

Cuadro 1.3.2 ADEVA DE COLIFORMES						
ADEVA DE COLIFORMES						
FV	GL	SC	MC	Valor de contraste FC	TABULADOS	
					0,05	0,01
Tratamientos	2	8,81E+15	4,40E+15	27,72**	5,14	10,92
Error	6	9,53E+14	1,59E+14			
Total	8	9,76E+15				
Coeficiente de Variación	1,96E+02					

****Conclusión: Los tratamientos son altamente significativos**

Cuadro 1.3.3 COMPARACIONES		
TRATAMIENTOS	MEDIA	RANGOS
t3(chanco - cuy)	5,60E+07	a
t2(cuy)	2,07E+07	a
t1(chanco)	1,81E+07	a

***Conclusión: Los 3 tratamientos son mejores**

ANEXO 1.4

CUADRO DE DATOS PARA EL ADEVA DE TEMPERATURA						
TRATAMIENTOS	OBSERVACIONES			Σy	$(\Sigma y)^2$	$\Sigma(y)^2$
	r1	r2	r3			
	°C	°C	°C			
t1	18,85	18,87	18,93	56,65	3209,74	1069,92
t2	18,69	19,13	18,72	56,54	3196,36	1065,57
t3	19,12	19,05	19,25	57,42	3296,85	1098,97
			T=	170,61	S =	3234,456446
			T ² =	29107,4619		

ADEVA DE TEMPERATURA			
FV	GL	SC	MC
Tratamiento	2	0,15	0,08
Error	6	0,14	0,02
Total	8	0,29	
Valor de contraste		3,24	
FC =			

CÁLCULO ADEVA DE TEMPERATURA			
CÁLCULO DE SCI, SCT y SCE			
A =	$\Sigma[(\Sigma y)^2/r]$	=	3234,32
B =	T^2/N	=	3234,16
SCI =	A - B	=	0,15
SCT =	S - B	=	0,29
SCE =	SCT - SCI	=	0,14
CÁLCULO DE LAS MEDIAS CUADRÁTICAS MCI, MCE			
MCI =	$SCI/(t - 1)$	=	0,08
MCE =	$SCE/(N-t)$	=	0,02
CÁLCULO DEL VALOR DE CONTRASTE Fc			
Fc =	MCI/MCE	=	3,24

ANEXO 1.5

CUADRO DE DATOS PARA EL ADEVA DE pH						
TRATAMIENTOS	OBSERVACIONES			Σy	$(\Sigma y)^2$	$\Sigma(y)^2$
	r1	r2	r3			
t1	6,73	6,74	6,06	19,54	381,63	122,15
t2	6,17	6,20	6,20	18,57	344,78	127,14
t3	6,23	6,57	6,57	19,37	375,13	118,28
			T=	57,47	S=	367,57
			T ² =	3.303,01		

ADEVA DEL pH			
FV	GL	SC	MC
Tratamientos	2	0,18	0,09
Error	6	0,39	0,06
Total	8	0,57	
Valor de contraste FC =		1,38	

CÁLCULO ADEVA DE pH			
CÁLCULO DE SCI, SCT y SCE			
A =	$\Sigma[(\Sigma y)^2/r]$	=	367,18
B =	T^2/N	=	367,00
SCI =	A - B	=	0,18
SCT =	S - B	=	0,57
SCE =	SCT - SCI	=	0,39
CÁLCULO DE LAS MEDIAS CUADRÁTICAS MCI, MCE			
MCI =	$SCI/(t - 1)$	=	0,09
MCE =	$SCE/(N-t)$	=	0,06
CÁLCULO DEL VALOR DE CONTRASTE Fc			
Fc =	MCI/MCE	=	1,38

ANEXO 1.6

CUADRO DE DATOS PARA EL ADEVA DE NITRÓGENO						
TRATAMIENTOS	OBSERVACIONES			Σy	$(\Sigma y)^2$	$\Sigma(y)^2$
	r1	r2	r3			
	%	%	%			
t1	0,99	0,91	1,29	3,19	10,18	3,47
t2	1,01	0,76	0,03	1,79	3,21	1,58
t3	1,05	0,87	0,60	2,51	6,30	2,20
			T=	7,49	S =	7,25
			T ² =	56,10		

ADEVA DEL NITRÓGENO			
FV	GL	SC	MC
Tratamientos	2	0,33	0,16
Error	6	0,70	0,12
Total	8	1,02	
Valor de contraste FC =		1,41	

CÁLCULO ADEVA DE NITRÓGENO			
CÁLCULO DEL SCI, SCT y SCE			
A =	$\Sigma[(\Sigma y)^2/r]$	=	6,56
B =	T^2/N	=	6,23
SCI =	A - B	=	0,33
SCT =	S - B	=	1,02
SCE =	SCT - SCI	=	0,70
CÁLCULO DE LAS MEDIAS CUADRÁTICAS MCI, MCE			
MCI =	$SCI/(t - 1)$	=	0,16
MCE =	$SCE/(N-t)$	=	0,12
CÁLCULO DEL VALOR DE CONTRASTE Fc			
Fc =	MCI/MCE	=	1,41

ANEXO 1.7

CUADRO DE DATOS PARA EL ADEVA DE FÓSFORO						
TRATAMIENTOS	OBSERVACIONES			Σy	$(\Sigma y)^2$	$\Sigma(y)^2$
	r1	r2	r3			
	%	%	%			
t1	0	0	0	0	0	0
t2	0	0	0	0	0	0
t3	0	0	0	0	0	0
			T=	0	S=	0
			T ² =	0		

ADEVA DEL FÓSFORO			
FV	GL	SC	MC
Tratamiento:	2	0,00	0
Error	6	0,00	0
Total	8	0,00	0
Valor de contraste FC			
=	0		

CÁLCULO ADEVA DE FÓSFORO			
CÁLCULO DE SCI, SCT y SCE			
A =	$\Sigma[(\Sigma y)^2/r]$	=	0,00
B =	T^2/N	=	0,00
SCI =	A - B	=	0,00
SCT =	S - B	=	0,00
SCE =	SCT - SCI	=	0,00
CÁLCULO DE LAS MEDIAS CUADRÁTICAS MCI, MCE			
MCI =	$SCI/(t - 1)$	=	0,00
MCE =	$SCE/(N-t)$	=	0,00
CÁLCULO DEL VALOR DE CONTRASTE Fc			
Fc =	MCI/MCE	=	0,00

ANEXO 1.8

CUADRO DE DATOS PARA EL ADEVA DE PESO						
TRATAMIENTOS	OBSERVACIONES			Σy	$(\Sigma y)^2$	$\Sigma(y)^2$
	r1	r2	r3			
	kg	kg	kg			
t1	26,80	26,82	26,61	80,23	6436,85	2145,64
t2	26,41	26,71	26,20	79,32	6291,19	2097,19
t3	26,58	26,90	26,61	80,09	6414,09	2138,09
			T=	239,64	S=	6380,93
			T ² =	57424,93		

ADEVA DEL PESO			
FV	GL	SC	MC
Tratamiento:	2	0,16	0,08
Error	6	0,22	0,04
Total	8	0,38	
Valor de contraste		2,23	
FC =			

CÁLCULO ADEVA DE PESO			
CÁLCULO DE SCI, SCT y SCE			
A =	$\Sigma[(\Sigma y)^2/r]$	=	6380,71
B =	T^2/N	=	6380,55
SCI =	A - B	=	0,16
SCT =	S - B	=	0,38
SCE =	SCT - SCI	=	0,22
CÁLCULO DE LAS MEDIAS CUADRÁTICAS MCI, MCE			
MCI =	$SCI/(t - 1)$	=	0,08
MCE =	$SCE/(N-t)$	=	0,04
CÁLCULO DEL VALOR DE CONTRASTE Fc			
Fc =	MCI/MCE	=	2,23

ANEXO 2
COSTOS DE PRODUCCIÓN

COSTOS DEL EXPERIMENTO	Columna1	Columna2	Columna3	Columna4
DESCRIPCIÓN	Unidad	Cantidad	C. unit.	C. Total
Materiales				446,60
Bidones de plástico con tapa	bidón	9	15,00	135,00
Adaptador para salida agua 1/2 p	unidad	18	4,00	72,00
Neplo hierro galvaniz. 1/2 pg. y 8 cm de largo	unidad	36	0,60	21,60
Llaves de válvula esférica de media vuelta	unidad	18	4,50	81,00
Tapón hembra de hierro galvanizado	unidad	9	0,35	3,15
Adaptador flex 1/2 pulgada	unidad	9	0,35	3,15
Codo flex 1/2 pulgada	unidad	9	0,50	4,50
Abrazaderas	unidad	18	0,35	6,30
Teflón	unidad	4	0,50	2,00
Cautín eléctrico	unidad	1	5,00	5,00
carretilla	unidad	1	10,00	10,00
baldes	unidad	1	5,00	5,00
tina	unidad	1	5,00	5,00
pala recta	unidad	1	5,00	5,00
Azadón	unidad	1	5,00	5,00
Zaranda	metros	1	8,00	8,00
Termo	unidad	1	50,00	50,00
Sacos de yute	unidades	3	1,00	3,00
Fundas plásticas	unidades	9	0,10	0,90
Plástico	metros	3	2,00	6,00
Resmas de papel bond	unidad	1	5,00	5,00
Libreta de campo	unidad	4	2,00	8,00
Lápiz y/o esféros	unidad	4	0,50	2,00
Equipos y/o instrumentos				300,00
Balanza	unidad	1	30,00	30,00
Balanza gramera	unidad	1	30,00	30,00
Termómetro	unidad	1	20,00	20,00
Medidor de Conductividad	unidad	1	25,00	25,00
Cámara fotográfica	unidad	1	30,00	30,00
Filmadora	unidad	1	45,00	45,00
Computadora e impresora	unidad	1	120,00	120,00
Laboratorios				1.080,00
Análisis de materia orgánica fresca (NPK)	unidad	9	5,00	45,00
Análisis del biofertilizante líquido (NPK)	unidad	9	8,00	72,00
Recuento de patógenos (mat. fresca y biol)	unidad	18	4,00	72,00
Análisis de DQO	unidad	99	9,00	891,00
Insumos				9,20
Estiércoles	Kg	48	0,15	7,20
Agua	m3	4	0,50	2,00
Otros				950,00
Transporte		11	50,00	550,00
Mano de obra		2	200,00	400,00
TOTAL				2.785,80

ANEXO 3

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE LABORATORIO

ANEXO 3.1



Laboratorio de Análisis de Aguas

Informe N°: 05-2011

Atuntaqui, 05 de enero de 2011

Análisis solicitado por:

Sra. Silvia Quilumbango y Sr. Luis Robalino

Número de muestras:

Nueve, muestras de biofertilizantes líquidos

Fecha de recepción de las muestras:

03 de enero de 2011

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado									Método
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Demanda Química de Oxígeno	g/Kg	46,9	45,83	55,34	57,31	50,01	48,55	45,49	44,34	42,31	APHA 5220 B
Fosforo	%	0,17	0,086	0,127	0,12	0,13	0,27	0,19	0,185	0,272	APHA 4500 - P D
Nitrógeno Total	%	1,516	1,481	1,789	1,853	1,617	0,923	1,470	1,369	1,006	APHA 4500 - N _{org} C
Potasio	mg/100 g	68,39	66,83	80,70	83,57	72,93	41,63	66,34	61,74	45,40	APHA 3500 K - B
Recuento de Coiliformes Totales	UFC/g	2 x 10 ⁷	2,5 x 10 ⁸	3,2 x 10 ⁷	5 x 10 ⁵	4,8 x 10 ⁸	7 x 10 ⁵	5,3 x 10 ⁷	5 x 10 ⁷	6,5 x 10 ⁷	E.P.A. - 40 CFR

Atentamente:

Bloq. Jose Luis Moreno

ANALISTA



Gobierno Municipal

Amazonas y Av. Julio Miguel Aguirre
Atuntaqui - Ecuador
Telf: 593 062 906 115 / 062 906 117 / 062 906 039
Fax: 062 907 646
www.antonioante.gob.ec
email: municipio@antonioante.gob.ec

Empresa Pública de Servicios Municipales empresapublica@antonioante.gob.ec / Telf: 062 910 110
Fábrica Textil Imbabura fabricaimbabura@antonioante.gob.ec / Telf: 062 908 660
Dirección de Gestión de Desarrollo dsocioeconomico@antonioante.gob.ec / Telf: 062 909 857
Consejo Cantonal de la Niñez y Adolescencia ccna-aa@antonioante.gob.ec / Telf: 062 908 266 ext: 146
Junta Cantonal de Protección de Derechos jproteccion@antonioante.gob.ec / Telf: 062 908 266 ext: 106
Registro de la Propiedad rpropiedad@antonioante.gob.ec / Telf: 062 906 115 ext: 130



ANEXO

3.2



Laboratorio de Análisis de Aguas

Informe N°: 06 -2011

Atuntaqui, 11 de enero de 2011

Análisis solicitado por: Sra. Silvia Quilumbango y Sr. Luis Robalino

Número de muestras: Nueve, muestras de biofertilizantes líquidos

Fecha de recepción de las muestras: 09 de enero de 2011

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado									Método
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Demanda Química de Oxígeno	9/Kg	42,88	41,90	50,60	52,40	45,72	44,39	41,59	40,54	38,68	APHA 5220 B

Atentamente:

Bioq. José Luis Moreno
ANALISTA



Gobierno Municipal
Amazones y Av. Julio Miguel Aguiraga
Atuntaqui - Ecuador
Telf: 593 062 906 115 / 062 906 117 / 062 906 039
Fax: 062 907 646
www.antonioante.gob.ec
email: municipio@antonioante.gob.ec

Empresa Pública de Servicios Municipales empresapublica@antonioante.gob.ec / Telf: 062 910 110
Fábrica Textil Imbabura fabricatimbabura@antonioante.gob.ec / Telf: 062 908 660
Dirección de Gestión de Desarrollo dsocioeconomico@antonioante.gob.ec / Telf: 062 909 857
Consejo Cantonal de la Niñez y Adolescencia ccna-aa@antonioante.gob.ec / Telf: 062 908 266 ext: 146
Junta Cantonal de Protección de Derechos jproteccion@antonioante.gob.ec / Telf: 062 908 266 ext: 106
Registro de la Propiedad propiedad@antonioante.gob.ec / Telf: 062 906 115 ext: 130

antonioante
Gobierno Municipal

ANEXO 3.3



Laboratorio de Análisis de Aguas

Informe N°: 07 - 2011

Atuntaqui, 16 de enero de 2011

Análisis solicitado por: Sra. Silvia Quilumbango y Sr. Luis Robalino
Número de muestras: Nueve, muestras de biofertilizantes líquidos
Fecha de recepción de las muestras: 14 de enero de 2011

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado									Método
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Demanda Química de Oxígeno	9/Kg	39,20	38,31	46,26	47,91	41,80	40,58	38,03	37,06	35,37	APHA 5220 B

Atentamente:

Biod. José Luis Moreno
ANALISTA



Gobierno Municipal
Amazoras y Av. Julio Miguel Aguilera
Atuntaqui - Ecuador
Telf: 593 062 906 115 / 062 906 117 / 062 906 039
Fax: 062 907 646
www.antonioante.gob.ec
email: municipio@antonioante.gob.ec

Empresa Pública de Servicios Municipales emprespublica@antonioante.gob.ec / Telf: 062 910 110
Fábrica Textil Imbabura fabricatextil@antonioante.gob.ec / Telf: 062 908 660
Dirección de Gestión de Desarrollo dtocioeconomico@antonioante.gob.ec / Telf: 062 909 857
Consejo Cantonal de la Niñez y Adolescencia ccna-aa@antonioante.gob.ec / Telf: 062 908 266 ext. 146
Junta Cantonal de Protección de Derechos proteccion@antonioante.gob.ec / Telf: 062 908 266 ext. 106
Registro de la Propiedad rpropiedad@antonioante.gob.ec / Telf: 062 906 115 ext. 130

antonioante
Gobierno Municipal

ANEXO 3.4



Laboratorio de Análisis de Aguas

Informe N°: 08 - 2011

Atuntaqui, 21 de enero de 2011

Análisis solicitado por: Sra. Silvia Quilumbango y Sr. Luis Robalino

Número de muestras: Nueve, muestras de biofertilizantes líquidos

Fecha de recepción de las muestras: 19 de enero de 2011

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado									Método
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Demanda Química de Oxígeno	9/Kg	33,31	34,08	44,42	43,69	40,11	40,04	30,02	35,82	33,62	APHA 5220 B

Atentamente:

Bioq. José Luis Moreno

ANALISTA



Gobierno Municipal
Amazonas y Av. Julio Miguel Aguiraga
Atuntaqui - Ecuador
Telf: 593 062 906 115 / 062 906 117 / 062 906 039
Fax: 062 907 646
www.antonioante.gob.ec
email: municipio@antonioante.gob.ec

Empresa Pública de Servicios Municipales emprespublica@antonioante.gob.ec / Telf: 062 910 110
Fábrica Textil Imbabura fabricatimbabura@antonioante.gob.ec / Telf: 062 908 660
Dirección de Gestión de Desarrollo dsocioeconomico@antonioante.gob.ec / Telf: 062 909 857
Consejo Cantonal de la Niñez y Adolescencia ccna-aa@antonioante.gob.ec / Telf: 062 908 266 ext: 146
Junta Cantonal de Protección de Derechos proteccion@antonioante.gob.ec / Telf: 062 908 266 ext: 106
Registro de la Propiedad rpropiedad@antonioante.gob.ec / Telf: 062 906 115 ext: 130

Gobierno Municipal

ANEXO 3.5



Laboratorio de Análisis de Aguas

Informe N°: 09 - 2011

Atuntaqui, 26 de enero de 2011

Análisis solicitado por: Sra. Silvia Quilumbango y Sr. Luis Robalino

Número de muestras: Nueve, muestras de biofertilizantes líquidos

Fecha de recepción de las muestras: 24 de enero de 2011

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado									Método
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Demanda Química de Oxígeno	9/Kg	25,98	26,77	25,71	41,88	36,89	39,95	28,11	24,88	26,37	APHA 5220 B

Atentamente:

Bioq. José Luis Moreno

ANALISTA



Gobierno Municipal
Amazons y Av. Julio Miguel Aguiraga
Atuntaqui - Ecuador
Telf: 593 062 906 115 / 062 906 117 / 062 906 039
Fax: 062 907 646
www.antonioante.gob.ec
email: municipio@antonioante.gob.ec

Empresa Pública de Servicios Municipales empresapublica@antonioante.gob.ec / Telf: 062 910 110
Fábrica Textil Imbabura fabricatimbabura@antonioante.gob.ec / Telf: 062 908 660
Dirección de Gestión de Desarrollo dsocioeconomico@antonioante.gob.ec / Telf: 062 909 857
Consejo Cantonal de la Niñez y Adolescencia ccna-aa@antonioante.gob.ec / Telf: 062 908 266 ext: 146
Junta Cantonal de Protección de Derechos jproteccion@antonioante.gob.ec / Telf: 062 908 266 ext: 106
Registro de la Propiedad rpropiedad@antonioante.gob.ec / Telf: 062 906 115 ext: 130

Gobierno Municipal

ANEXO 3.6



Laboratorio de Análisis de Aguas

Informe N°: 10 - 2011

Atuntaqui, 01 de febrero de 2011

Análisis solicitado por: Sra. Silvia Quilumbango y Sr. Luis Robalino
Número de muestras: Nueve, muestras de biofertilizantes líquidos
Fecha de recepción de las muestras: 29 de enero de 2011

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado									Método
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Demanda Química de Oxígeno	9/Kg	20,41	23,03	23,20	40,57	36,02	38,90	23,77	23,25	23,99	APHA 5220 B

Atentamente:

Bsca. José Luis Moreno
ANALISTA



Gobierno Municipal
Amazoras y Av. Julio Miguel Aguilera
Atuntaqui - Ecuador
Telf: 062 906 115 / 062 906 117 / 062 906 039
Fax: 062 907 646
www.antonioante.gob.ec
email: municipio@antonioante.gob.ec

Empresa Pública de Servicios Municipales empresapublica@antonioante.gob.ec / Telf: 062 910 110
Fábrica Textil Imbabura fabricatimbabura@antonioante.gob.ec / Telf: 062 906 660
Dirección de Gestión de Desarrollo dsocioeconomico@antonioante.gob.ec / Telf: 062 909 857
Consejo Cantonal de la Niñez y Adolescencia ccna-aa@antonioante.gob.ec / Telf: 062 906 266 ext: 146
Junta Cantonal de Protección de Derechos proteccion@antonioante.gob.ec / Telf: 062 906 266 ext: 106
Registro de la Propiedad rpropiedad@antonioante.gob.ec / Telf: 062 906 115 ext: 130

antonioante
Gobierno Municipal

ANEXO 3.7



Laboratorio de Análisis de Aguas

Informe N°: 11 - 2011

Atuntaquí, 05 de febrero de 2011

Análisis solicitado por: Sra. Silvia Quilumbango y Sr. Luis Robalino

Número de muestras: Nueve, muestras de biofertilizantes líquidos

Fecha de recepción de las muestras: 03 de febrero de 2011

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado									Método
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Demanda Química de Oxígeno	9/Kg	19,85	22,43	20,87	38,90	34,70	37,02	22,60	22,56	21,80	APHA 5220 B

Atentamente:

Bloq. José Luis Moreno

ANALISTA



Gobierno Municipal
Amazonas y Av. Julio Miguel Aguinaga
Atuntaquí - Ecuador
Telf: 593 062 906 115 / 062 906 117 / 062 906 039
Fax: 062 907 646
www.antonioante.gob.ec
email: municipio@antonioante.gob.ec

Empresa Pública de Servicios Municipales emprespublica@antonioante.gob.ec / Telf: 062 910 110
Fábrica Textil Imbabura fabricaimbabura@antonioante.gob.ec / Telf: 062 908 660
Dirección de Gestión de Desarrollo dsocioeconomico@antonioante.gob.ec / Telf: 062 909 857
Consejo Cantonal de la Niñez y Adolescencia ccona-sa@antonioante.gob.ec / Telf: 062 908 266 ext: 146
Junta Cantonal de Protección de Derechos jproteccion@antonioante.gob.ec / Telf: 062 908 266 ext: 106
Registro de la Propiedad rpropiedad@antonioante.gob.ec / Telf: 062 906 115 ext: 130

antonioante
Gobierno Municipal

ANEXO 3.8



Laboratorio de Análisis de Aguas

Informe N°: 12 - 2011

Atuntaqui, 10 de febrero de 2011

Análisis solicitado por: Sra. Silvia Quiumbango y Sr. Luis Robalino

Número de muestras: Nueve, muestras de biofertilizantes líquidos

Fecha de recepción de las muestras: 08 de febrero de 2011

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado									Método
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Demanda Química de Oxígeno	9/Kg	19,78	21,70	20,07	37,93	33,81	36,39	21,85	22,00	19,91	APHA 5220 B

Atentamente:

Bioq. José Luis Moreno

ANALISTA



Gobierno Municipal
Amazonas y Av. Julio Miguel Aguinaga
Atuntaqui - Ecuador
Telf: 593 062 906 115 / 062 906 117 / 062 906 039
Fax: 062 907 646
www.antonioante.gob.ec
email: municipio@antonioante.gob.ec

Empresa Pública de Servicios Municipales empresapublica@antonioante.gob.ec / Telf: 062 910 110
Fábrica Textil Imbabura fabricatimbabura@antonioante.gob.ec / Telf: 062 908 660
Dirección de Gestión de Desarrollo dsocioeconomico@antonioante.gob.ec / Telf: 062 909 857
Consejo Cantonal de la Niñez y Adolescencia ccna-ca@antonioante.gob.ec / Telf: 062 908 266 ext: 146
Junta Cantonal de Protección de Derechos proteccion@antonioante.gob.ec / Telf: 062 908 266 ext: 106
Registro de la Propiedad rpropiedad@antonioante.gob.ec / Telf: 062 906 115 ext: 130

Gobierno Municipal

ANEXO 3.9



Laboratorio de Análisis de Aguas

Informe N°: 13 - 2011

Atuntaqui, 15 de enero de 2011

Análisis solicitado por: Sra. Silvia Quilumbango y Sr. Luis Robalino

Número de muestras: Nueve, muestras de biofertilizantes líquidos

Fecha de recepción de las muestras: 13 de febrero de 2011

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado									Método
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Demanda Química de Oxígeno	9/Kg	18,74	20,41	19,67	37,45	33,81	36,36	21,85	22,00	19,91	APHA 5220 B

Atentamente:

Bioq. José Luis Moreno
ANALISTA



Gobierno Municipal
Amazoras y Av. Julio Miguel Aguiraga
Atuntaqui - Ecuador
Telf: 593 062 906 115 / 062 906 117 / 062 906 039
Fax: 062 907 646
www.antonioante.gob.ec
email: municipio@antonioante.gob.ec

Empresa Pública de Servicios Municipales empresapublica@antonioante.gob.ec / Telf: 062 910 110
Fábrica Textil Imbabura fabricatimbabura@antonioante.gob.ec / Telf: 062 908 660
Dirección de Gestión de Desarrollo dsocioeconomico@antonioante.gob.ec / Telf: 062 909 857
Consejo Cantonal de la Niñez y Adolescencia cconia-sa@antonioante.gob.ec / Telf: 062 908 266 ext: 146
Junta Cantonal de Protección de Derechos proteccion@antonioante.gob.ec / Telf: 062 908 266 ext: 106
Registro de la Propiedad rpropiedad@antonioante.gob.ec / Telf: 062 906 115 ext: 130

antonioante
Gobierno Municipal

ANEXO 3.10



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IBARRA - ECUADOR

Laboratorio de Análisis de Aguas

Informe N°: 14 - 2011

Atuntaqui, 20 de febrero de 2011

Persona quien muestrea:

Sra. Silvia Quilumbango y Sr. Luis Robalino

Número de muestras:

Nueve, muestras de biofertilizantes líquidos

Fecha de recepción de las muestras:

18 de febrero de 2011

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado									Método
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Demanda Química de Oxígeno	9/Kg	17,70	20,12	19,10	36,96	32,95	36,21	20,61	21,43	19,02	APHA 5220 B

Atentamente:

Biq. José Luis Moreno
ANALISTA



Misión Institucional

Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.

Ciudadela Universitaria barrio El Olivo
Teléfono: (06) 2 953-461 Casilla 199
(06) 2 609-420 2 640 - 811 Fax: Ext:1011
E-mail: utn@utn.edu.ec
www.utn.edu.ec

ANEXO 3.11



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IBARRA - ECUADOR

Laboratorio de Análisis de Aguas

Informe N°: 25 - 2011

Ibarra, 28 de febrero de 2011

Análisis solicitado por:

Sra. Silvia Quilumbango y Sr. Luis Robalino

Número de muestras:

Nueve, muestras de biofertilizantes líquidos

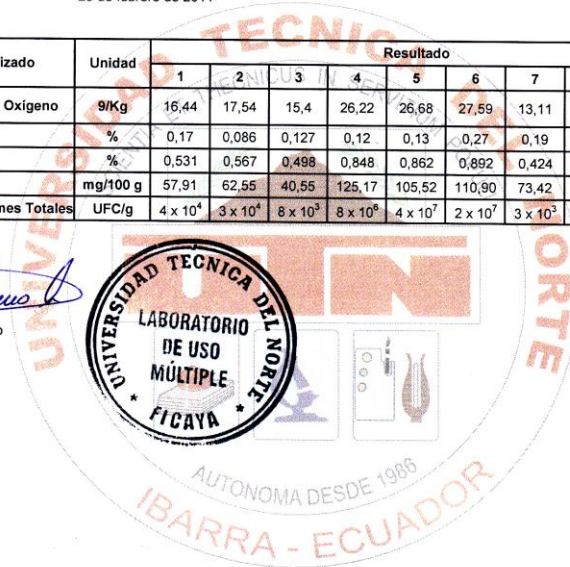
Fecha de recepción de las muestras:

23 de febrero de 2011

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado									Método
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Demanda Química de Oxígeno	9/Kg	16,44	17,54	15,4	26,22	26,68	27,59	13,11	15,5	12,7	APHA 5220 B
Fosforo	%	0,17	0,086	0,127	0,12	0,13	0,27	0,19	0,185	0,272	APHA 4500 - P D
Nitrógeno Total	%	0,531	0,567	0,498	0,848	0,862	0,892	0,424	0,501	0,411	APHA 4500 - N _{org} C
Potasio	mg/100 g	57,91	62,55	40,55	125,17	105,52	110,90	73,42	56,03	53,70	APHA 3500 K - B
Recuento de Coiliformes Totales	UFC/g	4×10^4	3×10^4	8×10^3	8×10^8	4×10^7	2×10^7	3×10^3	8×10^4	5×10^4	E.P.A. - 40 CFR

Atentamente:

Bioq. José Luis Moreno
ANALISTA



Misión Institucional

Contribuir al desarrollo educativo, científico, tecnológico, socioeconómico y cultural de la región norte del país. Formar profesionales críticos, humanistas y éticos comprometidos con el cambio social.

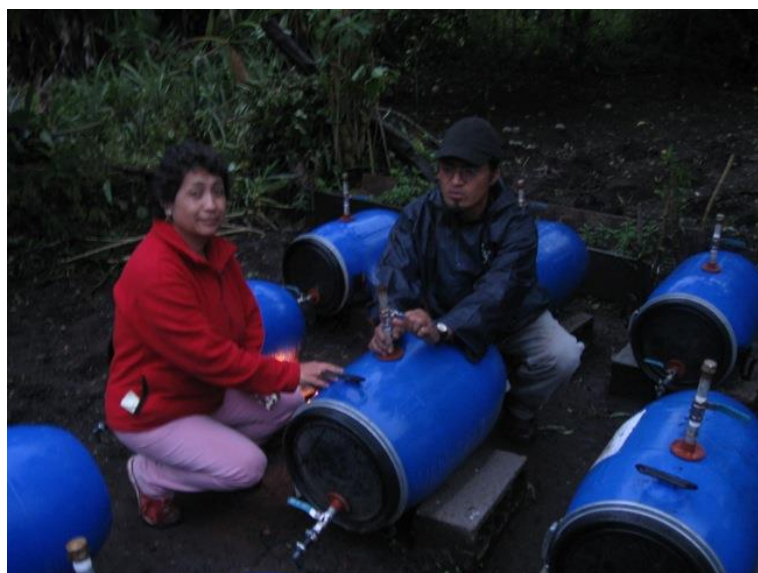
Ciudadela Universitaria barrio El Olivo
Teléfono: (06) 2 953-461 Casilla 199
(06) 2 609-420 2 640-811 Fax: Ext:1011
E-mail: utn@utn.edu.ec
www.utn.edu.ec

ANEXO 4
FOTOGRAFÍAS

ANEXO 4.1 BIODIGESTORES



ANEXO 4.2
TRANSPORTE E INSTALACIÓN DEL ENSAYO



ANEXO 4.3

CRIADERO DE CUYES Y RECOLECCIÓN DE MATERIA PRIMA



ANEXO 4.4

BIODIGESTOR CON AGUA Y MATERIA PRIMA



ANEXO 4.5

ADICIÓN DE MATERIA PRIMA Y REMOCIÓN



ANEXO 4.6

CERRADO DEL BIODIGESTOR Y UBICACIÓN EN SITIO



ANEXO 4.7

AGITACIÓN DE BIODIGESTOR Y QUEMA DE BIOGÁS



ANEXO 4.8

TOMA DE MUESTRA Y MEDICIÓN DE pH y TEMPERATURA



ANEXO 4.9

ENVASADO DE LA MUESTRA



ANEXO 4.10

VISTA DE LAS MUESTRAS



ANEXO 4.11

ANALISIS EN LABORATORIO DE LAS MUESTRAS



ANEXO 4.12
BIOFERTILIZANTE



ANEXO 5

REGISTRO DE TEMPERATURA AMBIENTE

REGISTRO DE LA TEMPERATURA AMBIENTAL																															
ENERO DEL 2011																															PROMEDIO
Días																															
HORA	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31			
06h00	12	13	12	13	13	12	12	12	12	12	12	13	13	13	13	13	12	13	12	13	13	12	13	13	14	13	13				
12h00	25	27	24	25	26	25	25	24	24	25	25	27	27	25	26	26	25	24	25	24	23	23	24	25	25	26	25	25			
18h00	18	18	18	17	18	18	18	17	18	18	18	18	18	18	18	19	18	18	18	18	18	17	18	17	17	17	19	18	17		
23h00	14	13	13	13	13	12	13	12	12	14	13	13	13	14	13	13	14	13	13	12	12	12	12	13	13	13	13	12			
	17	18	17	17	18	17	17	16	17	17	17	18	18	18	18	18	18	18	17	17	17	16	17	16	17	17	18	17	17		
																													17,08		

ANEXO 6

CRONOGRAMA DE REALIZACIÓN DE LA TESIS

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDADES	nov-10		dic-10				ene-11				feb-11				sep-11				mar-12		ago-12				sep-12				oct-12				nov-12			
	Semanas				Semanas				Semana				Semana								Semana				Semana				Semana				Semana			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	2	3	4	1	2	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
Aprobación del anteproyecto			x																																	
Estudio bibliográfico			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																				
Compra de materiales para biodigestores							x																													
Construcción de 9 biodigestores							x																													
Recolección de materia prima								x																												
Implementación y manejo del ensayo									x	x	x	x	x	x	x	x																				
Toma y análisis de muestras en laboratorio									x	x	x	x	x	x	x	x																				
Procesamiento preliminar de los datos																	x	x	x																	
Procesamiento de datos y analisis de los resultados																					x	x	x	x	x	x	x	x								
Ampliación de estudio bibliografico																									x	x	x	x	x	x	x	x				
Elaboración del informe preliminar																									x	x	x	x	x	x	x	x				
Entrega de primer borrador																																				
Entrega de correcciones																																				
Elaboración y entrega del informe final																																				

ANEXO 7

COSTOS DE PRODUCCIÓN DEL BIOFERTILIZANTE

COSTOS DE PRODUCCIÓN DEL BIOFERTILIZANTE				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	C. UNIT.	C. TOTAL
Materiales				
Bidones de plástico con tapa	unidad	1	15,00	0,30
Adaptador para salida agua 1/2 p	unidades	2	4,00	0,16
Neplo de hierro galvaniz.1/2 pg. y 8 cm de lar	unidad	4	0,60	0,05
Llaves de válvula esférica de media vuelta	unidades	2	4,50	0,18
Tapón hembra de hierro galvanizado	unidad	1	0,35	0,01
Adaptador flex 1/2 pulgada	unidad	1	0,35	0,01
Codo flex 1/2 pulgada	unidad	1	0,50	0,01
Abrazaderas	unidad	2	0,35	0,01
Teflón	unidad	1	0,50	0,01
Cautín eléctrico	unidad	1	1,00	0,02
carretilla	unidad	1	1,00	0,02
baldes	unidad	1	0,50	0,01
tina	unidad	1	0,50	0,01
pala recta	unidad	1	0,50	0,01
Azadón	unidad	1	0,50	0,01
Zaranda	metros	1	1,00	0,02
fundas plásticas	unidades	1	0,05	0,05
Insumos				
Estiércol	Kg	6	0,10	0,60
Agua	m3	0,5	0,25	0,13
Otros				
Mano de obra	diario	0,5	12,00	6,00
TOTAL				7,61
COSTO POR LITRO DE BIOFERTILIZANTE				0,29