



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
FACULTAD DE CIENCIA ANIMAL**

***“EVALUACION DE BIODIGESTORES PLASTICOS UTILIZANDO DOS TIPOS DE  
SISTRATOS”***

**POR: Estela Marina Zelaya Corea  
Enrique Javier Somarriba Olivas**

**ASESORA: Ing. Tania Beteta Herrera MSc.**

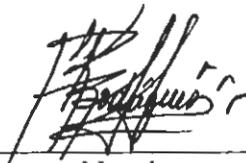
**Managua, Nicaragua, Septiembre del 2000**

Este trabajo de diploma (o trabajo especial) ha sido aceptado y aprobado en su presente forma, por el Consejo de Investigación y Desarrollo (CID) de la Facultad de Ciencia Animal de la Universidad Nacional Agraria, como requisito para optar al grado de:

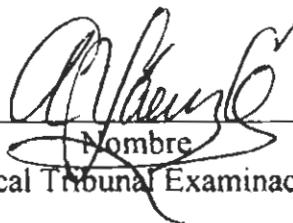
## INGENIERO AGRONOMO



Nombre  
Presidente de Tribunal Examinador



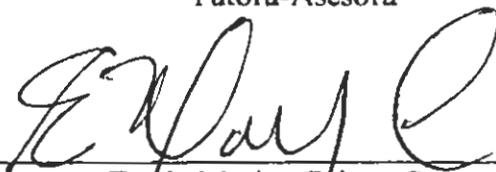
Nombre  
Secretario de Tribunal Examinador



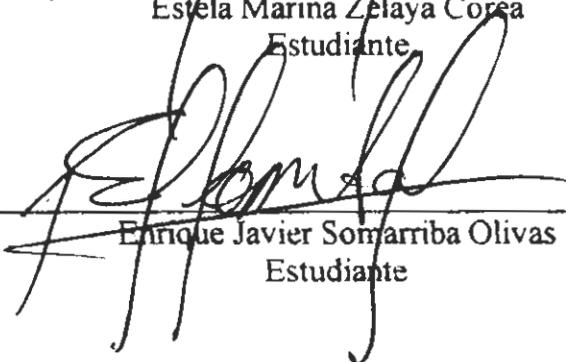
Nombre  
Vocal Tribunal Examinador



Ing. Tania Beteta Herrera MSc.  
Tutora-Asesora



Estela Marina Zelaya Corea  
Estudiante



Enrique Javier Somarrriba Olivas  
Estudiante

## **DEDICATORIA**

Gracias a Dios Padre.  
Gracias a Dios Hijo.  
Gracias a Dios Espíritu Santo,

Por haberme dado la existencia,  
Por haberme dado la sabiduría,  
Por haberme dado la paciencia,  
Comprensión en momentos difíciles,

Por haber estado  
Por seguir y  
Por permanecer en mí.

Gracias a mi familia, por haber estado  
Todos estos años brindándome apoyo y fortaleza.  
Gracias a mi novia Estela Zelaya por su apoyo y perseverancia.

**Enrique Somarriba**

## **DEDICATORIA**

Dedico y agradezco principalmente a Dios, todo poderoso, creador del cielo y de la tierra, por haberme dado la sabiduría y constancia necesaria para el término de mis estudios y tesis. También agradezco y dedico mi tesis a mi mamá Paulina Estela Corea, por su apoyo y comprensión. A mis hermanos Victoria, Regina y Rolando por su comprensión.

A mi novio y compañero de tesis Enrique Somarriba por su apoyo y perseverancia.

**Estela Zelaya**

## AGRADECIMIENTO

Agradecemos en especial a la profesora Tania Beteta: por su apoyo, asesoramiento y dedicación de su tiempo y trabajo para la realización de nuestra tesis. También agradecemos a la International Foundation for Science, que fue el organismo que financió el proyecto de nuestra tesis.

Al profesor José Adolfo González por el apoyo técnico que nos brindó en la realización de la tesis.

## INDICE

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pag.</b>
Lista de tablas	vii
Lista de gráficos	viii
Resumen	ix
I. Introducción	1
II. Objetivos	2
III. Hipótesis	3
IV. Revisión de literatura	4
4.1 Las actividades agropecuarias y la contaminación ambiental	4
4.2 Uso del agua en explotaciones pecuarias	6
4.3 Políticas de reciclaje para la producción de alimento animal, energía y protección ambiental	7
4.4 Reciclaje de residuales fecales y urinarios de la crianza porcina	10
4.5 Tratamiento y utilización de residuales líquidos y sólidos	13
4.6 Residuales líquidos	15
4.7 La demanda bioquímica de oxígeno y la descontaminación del agua	18
4.8 Definición de biodigestor	18
4.8.1 Las plantas tipo Batch	19
4.8.2 Las plantas continuas	19
4.9 Tipos de plantas de biogás	19
4.9.1 Planta de campana flotante	19
4.9.2 La planta de cúpula fija	20
4.9.3 La planta de balón	21
4.10 Proceso de fermentación	22
4.11 Composición del biogás	22
4.12 La utilización del biogás	22
4.13 Proceso químico de la biodigestión	24
4.13.1 Bacterias metanogénicas o metanógenos	24
4.13.2 Digestión	25
4.13.2.1 Etapas del proceso anaeróbico	25
4.14 Parámetros del proceso anaeróbico	26
4.14.1 pH	26
4.14.2 Temperatura	27
4.14.3 Tiempo de retención hidráulica	27
4.14.4 Relación Carbono / Nitrógeno	28
4.14.5 Suministro de excretas al biodigestor	29
4.14.6. Proporción entre excretas y aguas	30
4.14.7 Producción de estiércol por animal	30
4.15 Abonos orgánico y la agricultura orgánica	31
4.16 Uso del efluente del biodigestor	32
4.17 Valor del efluente del biodigestor como fertilizante	34
4.18 Protección adicional al biodigestor	34
V. Materiales y métodos	36
5.1 Ubicación geográfica	36
5.2 Descripción del lugar experimental	36
5.3 Manejo del experimento	36
5.4 Descripción de los tratamientos	38

5.5 Variables a medir	39
5.6 Análisis de laboratorio	40
5.7 Análisis estadístico	40
5.8 Análisis económico	41
VI. Resultados y discusión	43
6.1 Agua adicionada al biodigestor	43
6.2 Producción de estiércol	44
6.3 Producción de biogás	46
6.4 Producción de efluente	47
6.5 Aporte de nutrientes del efluente	49
6.6 Eficiencia del sistema de reciclaje	50
6.6.1 pH	50
6.6.2 Temperatura	52
6.6.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	54
6.6.4 Porcentaje de remoción de coliformes fecales	56
6.7 Análisis económico de los tratamientos	56
VII. Conclusiones	59
VIII. Recomendaciones	60
IX. Bibliografía	61
X. Anexos	66

## LISTA DE TABLAS

<b>TABLAS</b>	<b>Pag.</b>
1. Composición bromatológica del concentrado	38
2. Composición de los desperdicios de cocina	39
3. Promedios diarios para las variables adición de agua, producción de estiércol, de gas y efluente	43
4. Composición química de los efluentes producidos	49
5. Porcentaje de remoción de coliformes fecales en los tratamientos evaluados	56
6. Análisis económico para el gas por presupuestos parciales	56
7. Análisis económico para el efluente por presupuestos parciales	57
8. Ahorro diario por productor al utilizar los productos de los biodigestores	58

## LISTA DE GRAFICOS

<b>GRAFICO</b>	<b>Pag.</b>
1. Promedios de adición diaria de agua por tratamiento en las semanas de estudio	44
2. Promedios de producción diaria de estiércol por tratamientos en las semanas de estudio	45
3. Promedios de producción diaria de gas por tratamientos en las semanas de estudio	47
4. Promedios de producción diaria de efluente por tratamiento en las semanas en estudio	48
5. Aporte de macronutrientes del efluente producido por tratamiento	50
6. Valores de pH del biodigestor con sustrato de estiércol de animales alimentados con concentrado	51
7. Valores de pH del biodigestor con sustrato de estiércol de animales alimentados con desperdicios de cocina	51
8. Temperaturas promedios en biodigestores con sustrato de estiércol de concentrado en las semanas de estudio	52
9. Temperaturas promedio de biodigestores con sustrato de estiércol de desperdicios de cocina en las semanas de estudio	53
10. DBO <sub>5</sub> promedios en biodigestores con sustrato de estiércol de concentrado en las semanas de estudio	54
11. DBO <sub>5</sub> promedio de biodigestores con sustrato de estiércol de desperdicios de cocina en las semanas de estudio	54
12. Porcentaje de remoción de DBO <sub>5</sub> para los tratamientos por semanas analizadas	55

Zelaya, C.E.M., Somarriba O.E.J. 2000. Evaluación de biodigestores plásticos utilizando dos tipos de sustratos. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. pp 74

**Palabras Claves:** *Biodigestor, sustrato, biogás, efluente, afluente, estiércol, agua, coliformes, Demanda bioquímica de oxígeno, Temperaturas, pH, remoción, producción.*

## RESUMEN

El presente trabajo se desarrolló dentro del contexto del proyecto de investigación UNA-IFS, financiado por la International Foundation for Science. Este perseguía como objetivo general: Evaluar la producción de un sistema de descontaminación de aguas residuales de producción de cerdos utilizando biodigestores tubulares plásticos como una alternativa para los productores. Asimismo se persiguió los siguientes objetivos específicos: 1. Determinar la producción de biogás con biodigestores plásticos utilizando como sustrato estiércol procedente de cerdos de engorde alimentados con dos tipos de dietas (Concentrado y Desperdicios de cocina). 2. Determinar la producción de efluente (abono orgánico) utilizando como sustrato estiércol procedente de cerdos de engorde alimentados con dos tipos de dietas (Concentrado y Desperdicios de cocina). 3. Determinar la eficiencia del sistema de reciclaje (biodigestores tubulares plásticos) a través del % de remoción de agentes contaminantes en las aguas residuales, utilizando como sustrato estiércol procedente de cerdos de engorde alimentados con dos tipos de dietas (Concentrado y Desperdicios de cocina). 4. Estimar el aporte de nutrientes de los fertilizantes orgánicos. 5. Analizar el beneficio económico del producto de los biodigestores (abono orgánico y biogás) en relación a los productos comerciales. El experimento se llevó a cabo en la granja Santa Rosa de la Universidad Nacional Agraria, ubicada en Sabana Grande. Para ello se utilizaron 2 grupos de cerdos (de 8 animales) cuya producción de estiércol fue procesada a través de dos biodigestores tubulares plásticos (conectado uno a cada corral) de 9 m<sup>3</sup>. Los tratamientos evaluados fueron: T<sub>1</sub> = Sustrato proveniente de animales alimentados con concentrado y T<sub>2</sub> = Sustrato proveniente de animales alimentados con Desperdicios de cocina. Las variables analizadas fueron las siguientes: Producción de estiércol, Adición de agua a los biodigestores, producción de gas, producción de efluente, aporte de nutrientes del efluente, eficiencia del sistema de reciclaje, beneficio de los tratamientos. Para ello se utilizó un DCA en arreglo bifactorial donde se consideró el Factor A: Semanas y el Factor B: Tipo de sustrato. Los biodigestores tubulares plásticos son una alternativa viable y eficiente para descontaminar los residuales de cerdos (estiércol). El comportamiento de la adición de agua fue similar estadísticamente en ambos tratamientos. La producción de estiércol se comportó mejor estadísticamente en el T<sub>1</sub>. El biodigestor plástico que presentó mayor producción de biogás fue el del T<sub>1</sub>. Ambos tratamientos presentaron una producción similar de efluente. El tratamiento 1 presentó mayores aportes de P, K y Mg, y el T<sub>2</sub> de N y Ca, además de ser un producto que no contamina el ambiente al producirlo y al aplicarlo. En cuanto a la eficiencia del sistema de reciclaje los valores de pH, Temperatura y DBO<sub>5</sub> reportados fueron similares en ambos tratamientos. El tratamiento que mayor porcentaje de reducción de coliformes fecales presenta fue el T<sub>1</sub> con un 15%. En base al análisis económico, el tratamiento que presentó mayores utilidades fue el tratamiento 1. Asimismo, al utilizarse los productos obtenidos, el productor tiene mayor ahorro al año con el tratamiento 2 (158.775 US) que con el T<sub>1</sub>. (133.225 US).

## I. INTRODUCCION

La explotación de energía no renovable como combustible, gas natural, carbón, así como también el uso irracional de pesticidas, fertilizantes químicos y la deforestación de los bosques, constituyen fuentes de deterioro ambiental que casi siempre es irreversible. En la sociedad de consumo moderna estos combustibles se han hecho indispensables, la biomasa como recurso energético (leña), es frecuentemente usada por la población más pobre para cocinar. En la actualidad en Nicaragua se deforestan 100 mil hectáreas por año. Las sequías, el calor y la desaparición de la fauna son entre otros, el resultado de la tala de árboles. Un país como Nicaragua cuya economía está basada en la agricultura debe mantener el equilibrio ambiental.

El uso de los biodigestores en zonas rurales, podría dar solución a los problemas de contaminación de las aguas residuales por excretas, evitar el despale ocasionado por la búsqueda de leña, mantener un equilibrio ambiental, mejorar la estructura del suelo y aumentar la fertilidad del mismo por la aplicación del efluente que es producido por el biodigestor (abono orgánico), permitiendo así el aumento de la producción de las parcelas agrícolas.

La instalación de biodigestores trae consigo grandes beneficios económicos, ya que tiene diferentes usos: produce gas metano, el cual se puede utilizar en maquinarias agrícolas, para cocinar, para calentar pollos y cerdos y como energía eléctrica, disminuyendo así el gasto de leña, y de energía eléctrica convencional. Esta es una forma de producir energía que no contamina en la producción ni en la combustión de la misma, contrario a lo que sucede con los combustibles fósiles; además, produce fertilizantes orgánicos que se pueden integrar al sistema de producción de las fincas.

Se hace necesario evaluar esta tecnología apropiada de descontaminación, para obtener resultados que permitan analizar su importancia y el beneficio que la misma pueda tener para los pequeños y medianos productores del país.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

- **Evaluar la producción de un sistema de descontaminación de aguas residuales de producción de cerdos, utilizando biodigestores tubulares plásticos como una alternativa para los productores.**

### **2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- **Determinar la producción de biogás con biodigestores plásticos, utilizando como sustrato estiércol procedente de cerdos de engorde alimentados con dos tipos de dietas, una comercial (concentrado) y la otra alternativa (desperdicio de cocina).**
- **Determinar la producción de abono orgánico (Efluente), utilizando como sustrato estiércol procedente de cerdos de engorde alimentados con dos tipos de dietas, una comercial (concentrado) y la otra alternativa (desperdicio de cocina).**
- **Determinar la eficiencia del sistema de reciclaje (biodigestores tubulares plásticos) a través del porcentaje de remoción de las aguas residuales, utilizando como sustrato estiércol procedente de cerdos de engorde alimentados con dos tipos de dietas, una comercial (concentrado) y la otra alternativa (desperdicio de cocina).**
- **Estimar el aporte de nutrientes del fertilizante orgánico producido por los biodigestores utilizando como sustrato estiércol procedente de cerdos de engorde alimentados con dos tipos de dietas, una comercial (concentrado) y la otra alternativa (desperdicio de cocina).**
- **Analizar el beneficio económico del producto de los biodigestores plásticos, (abono orgánico y biogás) en relación a los productos comerciales (gas butano y fertilizantes químicos).**

### III. HIPOTESIS

- Se espera una mejor producción de biogás y efluente al igual que mayor descontaminación, del biodigestor tubular plástico que utiliza como sustrato estiércol de cerdos alimentados con concentrado.

## **IV. REVISION DE LITERATURA**

### **4.1. Las actividades agropecuarias y la contaminación ambiental**

En el campo generalmente se encuentra el problema de que las aguas y residuos sólidos generados en las actividades agropecuarias se disponen inadecuadamente, cerca o en las mismas corrientes superficiales, ocasionando problemas de contaminación y de salud pública a los habitantes que utilizan aguas abajo, para su abastecimiento, desconociendo que con un manejo adecuado de estos desechos se pueden obtener beneficios socioeconómicos y ambientales (FAO, 1992). La misma fuente afirma que en Costa Rica, la contaminación de las aguas superficiales y en algunos casos subterráneas, tiene su origen en el aumento y concentración de la población en algunas de las cuencas de más importancia, esto es debido a la falta de planificación de las actividades urbanas e industriales y en la ausencia de acciones correctivas que enfrenten el problema de manera integral. En general los cuerpos de agua del país están afectados en su calidad por aportes puntuales y no puntuales de materiales que van desde sedimentos, aguas negras, desechos industriales y agropecuarios hasta agroquímicos ( FAO, 1992).

En Colombia, la contaminación de las fuentes de agua ha sido una causa importante de deterioro en muchas zonas del país. Lamentablemente las cifras sobre contaminación son confusas por la relativa escasez de estudios sistemáticos sobre el tema. Al año se desechan en el mundo 300,000 millones de metros cúbicos de aguas residuales, basuras y desperdicios orgánicos e inorgánicos, lo que ocasiona la disminución de la productividad de los ríos y océanos en un 40% (Universidad de Antioquia, 1993).

La contaminación del agua tiene implicaciones serias sobre la salud humana. Al respecto un informe de las Naciones Unidas, menciona que en el mundo mueren unas 25,000 personas diariamente por beber aguas contaminadas y 5 millones de niños al año a causa de enfermedades provocadas por el manejo inadecuado del agua (Universidad Antioquia, 1993).

El impacto social y económico de la contaminación, también es muy alto aunque existen poco estudios al respecto. Para el río Bogotá (uno de los más contaminados del mundo) la contaminación afecta especialmente al desarrollo agropecuario de más de 60,000 hectáreas, causa serios perjuicios a los habitantes de las riberas del embalse del Muña y a la infraestructura de generación eléctrica (Chará, 1995).

No obstante que son muchas las fuentes de contaminación de las aguas, la carga orgánica generada por el procesamiento de café y la actividad porcina, es muy significativa en tanto que afecta mayormente a la cuenca del Río Grande de Tárcos (Costa Rica), que drena la zona central del país y que descarga en el Golfo de Nicoya, importante enclave de la pesca artesanal. De los residuos de la actividad productora de café, pulpas y aguas, el segundo es el que provoca mayor impacto ambiental (FAO, 1992).

Unas pocas unidades de producción porcina, han instalado algún tratamiento, pero al igual que en el caso de los beneficios de café, esto responde a iniciativas individuales y no representan una solución integral del problema (FAO, 1992).

Las molestias generadas por los desechos descargados en los ríos son: malos olores, proliferación de moscas y otros insectos, efectos estéticos y la aparición del cólera. La cuestión sanitaria pasó a ser considerada prioritariamente por las comunidades, ejerciéndole mayor presión para solucionar su problema, sea por reubicación de las unidades productivas o por instalación de sistemas de tratamiento (FAO, 1992).

No obstante, cada día más unidades de producción porcina cuenta con algún grado de tratamiento de las aguas de desecho. Estas se componen de heces, orina, agua de lavado, restos de alimento y de pasto. La cantidad y calidad de esos desechos depende de la cantidad de excreciones fecales y urinarias, y de la cantidad de agua usada para limpiar la porqueriza (FAO, 1992).

La primera acción para el tratamiento de estos residuos consistió en la instalación de biodigestores en pequeñas y medianas unidades de producción, que tuvo un gran auge entre 1983 y 1984. Sin embargo, de los 15 dispositivos construidos, según la Comisión Nacional sobre biodigestión, en 1986, el 38% estaba fuera de uso por dos razones fundamentales: falta de asistencia técnica en el diseño, construcción y operación; y por que la tecnología se presentó al usuario únicamente desde la perspectiva de generación de energía, estando el país cubierto en un 91% por la red de electrificación. Actualmente en Costa Rica, se impulsa la biodigestión anaeróbica desde la óptica del saneamiento ambiental, con beneficios adicionales como la producción de biogás y bioabono (FAO 1992).

#### **4.2 Uso del agua en las explotaciones agropecuarias**

Se presenta desperdicio de agua por el hecho de usarla independientemente en todos los renglones de producción, así el agua que llega limpia al hogar rural, para el lavado de porquerizas o establos, o para el procesamiento de cosechas, es luego vertida a las corrientes de agua y mezclada con la cosecha sin ningún tratamiento. Además, la intensificación de los sistemas de producción agrícola y pecuario, ha concentrado en algunos sitios los animales y los procesos, con la consecuente generación masiva de estiércol, aguas residuales y el aumento de los procesos de contaminación, por otro lado, estos desechos poseen en su mayoría buena cantidad de nutrientes que se pierden por su mala disposición. Esta situaciones hacen que aguas abajo, se empiece a generar problemas de escasez de agua potable y se haga necesario un mayor tratamiento de las mismas en los acueductos municipales. Por otra parte, también se incrementa los problemas de gastroenteritis y otras enfermedades, y se favorece el crecimiento de artrópodos que sirven como vectores de diversas enfermedades.

Este tipo de producción agropecuaria, con componentes independientes y con escasa o nula integración entre ellos, hace que se dependa de recursos externos costosos para la producción y el mercadeo, que halla necesidad de adquirir leña y otros combustibles fuera

de cada unidad de producción familiar o empresarial, ya que representa una gran pérdida de energía y nutrientes en cada uno de los procesos. En Colombia existe unas 300,000 fincas cafetaleras y todas ellas utilizan el beneficio de café húmedo. Con este proceso se genera subproductos que si no se disponen de manera adecuada, afectan el medio ambiente; la pulpa representa el 72% y el mucílago el 28% restante, en total se gastan 40 litros de agua por cada kilo de grano producido (Chará, 1995). La toxicidad de la pulpa se debe a elementos como el calcio, cafeína, polifenoles, ácido tánico, nitrógeno, fósforo y potasio.

#### **4.3 Políticas de reciclaje para la producción de alimento animal, energía y la protección ambiental.**

La complejidad y diversidad de actividades del hombre en su conjunto en la lucha por la vida, pone en peligro la continuidad de la vida misma, en un mundo donde las necesidades crecientes de la sociedad humana, tanto materiales como espirituales van más 'allá' de los requerimientos naturales y sociales. Se hace por tanto imprescindible la aplicación de una amplia política de reciclaje que posibilite el saneamiento ambiental y a la vez, permita la circulación de nutrientes, que contribuyan de ambas maneras a lograr un mejor equilibrio entre el hombre y la naturaleza, para alcanzar a su vez un beneficio económico (Figuroa, 1996).

El consumo humano de alimentos y bienes materiales va unido a procesos de producción agropecuaria e industrial que generan una cantidad incalculable de residuos, desechos y subproductos, los cuales por la forma como se producen y utilizan no se incorporan a la naturaleza en un ciclo natural. Estos desperdicios, evidentemente deben ser eliminados del ambiente y correctamente aprovechados para aumentar la eficiencia y productividad de la actividad humana. La aplicación, por tanto, de una incorrecta política de reciclaje ocasiona, por una parte la disipación de grandes recursos y por otra parte la contaminación ambiental pone en peligro el futuro de la humanidad (Figuroa, 1996).

La magnitud del problema puede apreciarse en la tabla 1, donde se ha estimado el volumen potencial de desperdicios recuperables provenientes solamente de la producción agropecuaria y de la pesca, sin considerar los subproductos generados en la actividad industrial de estas producciones. Se calcula que solamente teniendo en cuenta la recuperación de nitrógeno, los desperdicios en su conjunto equivalen a 7 veces la cosecha mundial de soya como se presenta a continuación:

**Tabla 1. Volumen de desperdicios y subproductos provenientes del consumo humano de alimentos**

	Desperdicios (MT)
Residuos de cosecha <sup>(1)</sup>	904
Pérdidas poscosecha <sup>(2)</sup>	586
Desecho de la producción <sup>(3)</sup> y animal y de la pesca.	100
Residuos fecales de animales <sup>(4)</sup>	2017
Desperdicios de la alimentación <sup>(5)</sup> Humano (salchocho)	668

Fuente: FAO (1993b)

- (1) Residuos de cosecha mundial: caña de azúcar, cereales, plátanos y bananos, yuca y batata.
- (2) Pérdidas poscosecha (10-30%) de la producción mundial de raíces más tubérculos, frutas más hortalizas, cereales y plátanos más bananos.
- (3) Calculado a partir de existencia mundial de aves, cerdos, bovinos y ovino-caprinos y de la captura de peces.
- (4) A partir de existencia mundial de animales, considerando un promedio de 25% de residuos fecales que se puede recuperar.
- (5) Considerando 120 kg de desperdicios por habitante al año.

El volumen de desperdicios es mayor en los países subdesarrollados que no cuentan con la infraestructura ni las facilidades necesarias para disminuir las pérdidas de nutrientes y por otra parte, lograr su tratamiento y aprovechamiento. En un estudio realizado por la FAO (1993a) sobre la comercialización de alimentos en los grandes centros urbanos de América Latina, se calculaba que solamente en el estado de Minas Gerais en Brasil, se producían pérdidas por cosecha del orden de 1.79 millones de toneladas (20% de la producción) en solo 8 de los alimentos encuestados.

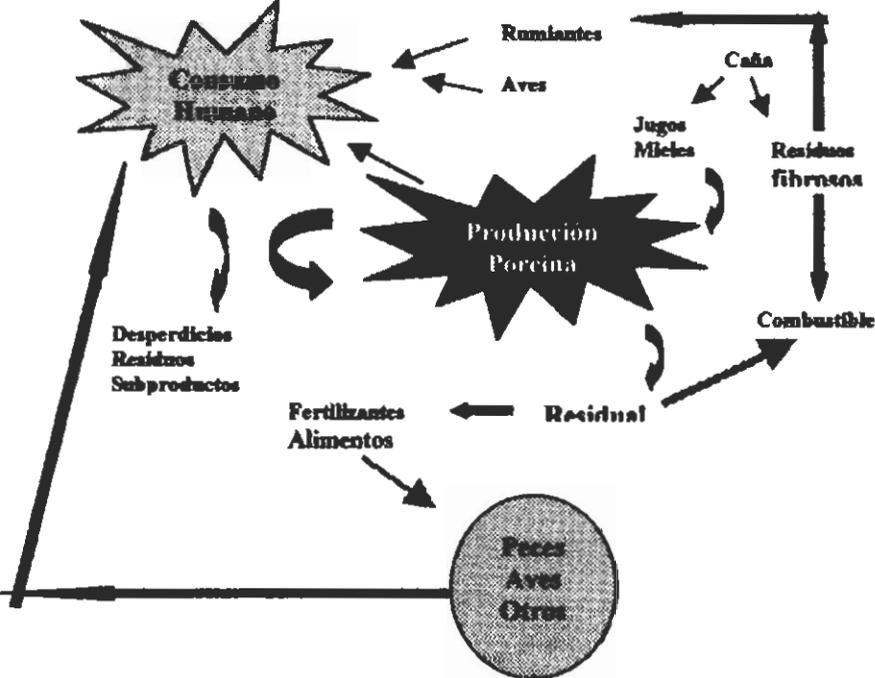


agricultura, pérdidas poscosecha, subproductos de la industria, desechos de gastronomía y desperdicios de la pesca. Esta política de reciclaje integrada a su vez a cultivos de alta producción de biomasa como la caña de azúcar, posibilita alternativas de suplementación, en especial, de proteína en los sistemas integrados de producción animal donde el cerdo ocupa un papel relevante. Son a su vez, una forma más sostenible de producción animal en los países tropicales menos desarrollados (Figueroa, 1996).

**4.4 Reciclaje de residuales fecales y urinarios de la crianza porcina**

La práctica de integrar cultivos de alto rendimiento en los trópicos como la caña de azúcar, con la recuperación de todo tipo de desperdicios y subproductos de variada procedencia, es una política de reciclaje y descontaminación ambiental, contempla también el tratamiento y aprovechamiento de los residuos líquidos y sólidos generados en la producción animal. En estos sistemas de producción se logra a su vez la integración de diferentes especies de animales, como se observa en el siguiente ejemplo:

**Integración de la caña con reciclaje de nutrientes**



Fuente: Figueroa, 1996

El potencial de los residuales fecales provenientes de la crianza animal con el objetivo de reciclar nutrientes, en especial, el nitrógeno y el fósforo, es extraordinariamente elevado. Su empleo puede ser de uso directo como fuente de proteína en la alimentación de diferentes especies animales o para la fertilización de cultivos o estanques de plantas acuáticas y/o peces (Figueroa, 1996).

Si se estima, según Müller (1980) que como promedio 25% de los residuos fecales pudieran ser recogidos, la cifra equivaldría, tomando como referencia el total mundial de aves, cerdos y ganado bovino a más de 7000 millones de toneladas de residuales fresco equivalente a 16 tm de nitrógeno y 8 tm de fósforo. Se calcula que la crianza de cerdos es la que permite la mayor recuperación de residuales potencialmente utilizables, como se observa en la siguiente tabla:

**Potencial de los residuales fecales provenientes de la producción animal**

	Residual Total (tm)	Residual colectable (% del Total)	Equivalente en nutriente (tm)		
			N	P	K
Aves	386	50.2	1.6	0.75	1.00
Bovinos	5550	17.8	5.9	1.49	1.98
Cerdos	1566	77.7	8.4	5.87	2.34
<b>TOTAL</b>	<b>7502</b>	<b>25.0</b>	<b>15.9</b>	<b>8.11</b>	<b>5.32</b>

Fuente: FAO (1993b)

Existen diferentes alternativas para reciclar residuales fecales y urinarios de la crianza porcina. La aplicación de uno y otro modelo depende de las condiciones, propósitos deseados y los recursos disponibles. En cualquier esquema, el objetivo principal es la descontaminación ambiental o la eliminación de residuales, pero esto va estrechamente unido a la producción de energía, fertilizante y /o biomasa utilizable.

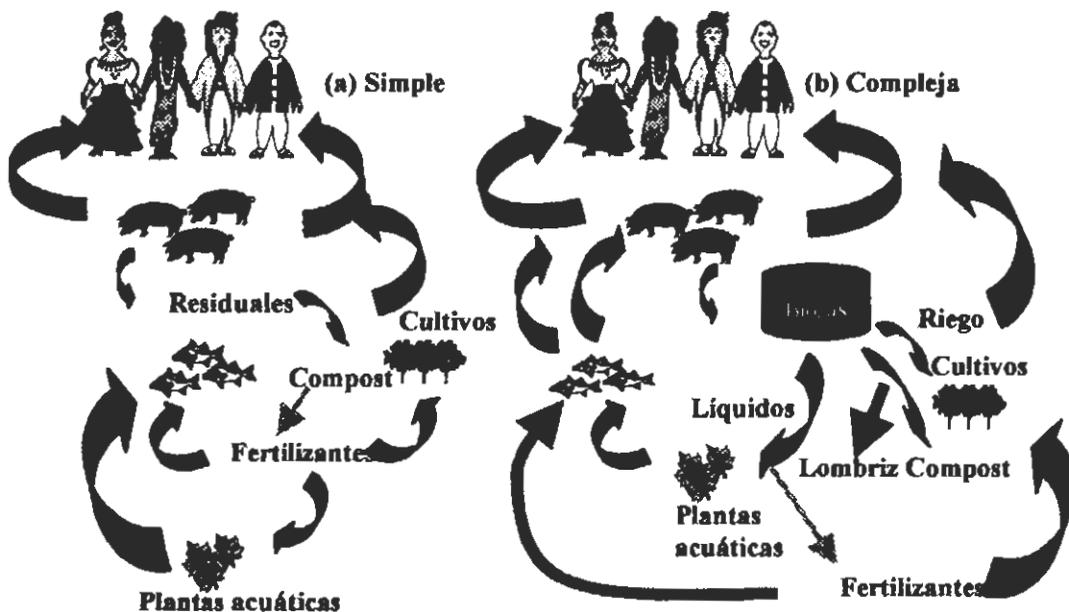
Los modelos posibles pueden ser simples o más complejas con las siguientes características:

- El modelo simple practicado por los productores de menos recursos consiste en vertir los residuales fecales directamente en lagunas de peces, ya sea colocando los cerdos sobre los estanques o llevando los residuales a estos últimos. También se utiliza la

preparación de un compost que sirve tanto para fertilizar cultivos (vegetales, plantas acuáticas y otros) y/o lagunas con peces.

Un modelo más complejo fracciona los residuales en efluente líquido y sólidos después de ser fermentados para la producción de biogás, aportando un nuevo elemento: energía o combustible. Los residuales líquidos pueden utilizarse para la irrigación de cultivos o pueden evacuarse en lagunas para abonar plantas acuáticas cuyos efluentes a su vez fertilizan estanques de peces. Los residuales sólidos se reciclan para producir fertilizantes ya sea en forma de desechos orgánicos fermentados (compost) o se tratan con lombrices para obtener humus y biomasa proteica de lombriz. Existen otras variantes más complejas aún, pero requieren más recursos, tecnología e infraestructura (Müller, 1980; Marchaim, 1992), la variante de esquemas simples y complejos se presentan a continuación:

#### Variantes de reciclaje de residuales porcinos



Fuente: Marchaim, 1992

Se ha estimado la ganancia neta y el porcentaje de retorno de diferentes sistemas integrados de reciclaje de residuales, procedentes de la crianza animal a pequeña escala.

No es precisamente la complejidad de los sistemas lo que posibilita mayor ganancia, de hecho no sólo la ganancia decide la implantación de uno y otro modelo, sino que también hay que considerar los recursos disponibles, las necesidades humanas y la sostenibilidad de los diferentes sistemas. Sin embargo, una cosa debe destacarse: el cerdo en cualquiera de las variantes calculadas resulta el corazón del sistema y aporta la mayor parte de las ganancias como se observa en la siguiente tabla:

**Ganancias netas en sistemas integrados de producción animal a pequeña escala con reciclaje de residuos**

	Ganancia Neta ( US 1 Año)							
	Gallina	Pollo	Cerdo	Vaca	Peces	Cultivo	Biogás	Total
Gall + cerdos + peces	349	-	1519	-	461	-	-	2329
Poll + leche + peces	-	571	-	430	461	-	-	1462
Gall + leche + peces	349	-	-	430	461	-	-	1240
Gall + cerdo + leche Peces + cultivos	349	-	1519	430	461	336	-	3095
Pollo + leche + peces Cultivo + biogás	-	571	-	430	461	336	7	1805
Cerdos + peces Cultivos + biogás	-	-	1519	-	461	336	7	2323
Cerd + leche + peces Cultivo + biogás	-	-	1519	430	461	336	16	2762
Gall + pollo +leche+cerdos Peces +cultivos + biogás	348	570	1519	430	461	336	14	3678

100 gallinas, 500 pollos, 20 cerdos, 2 vacas, 0.4 ha.

Fuente: Figueroa, 1996

#### 4.5 Tratamiento y utilización de residuales crudos y sólidos.

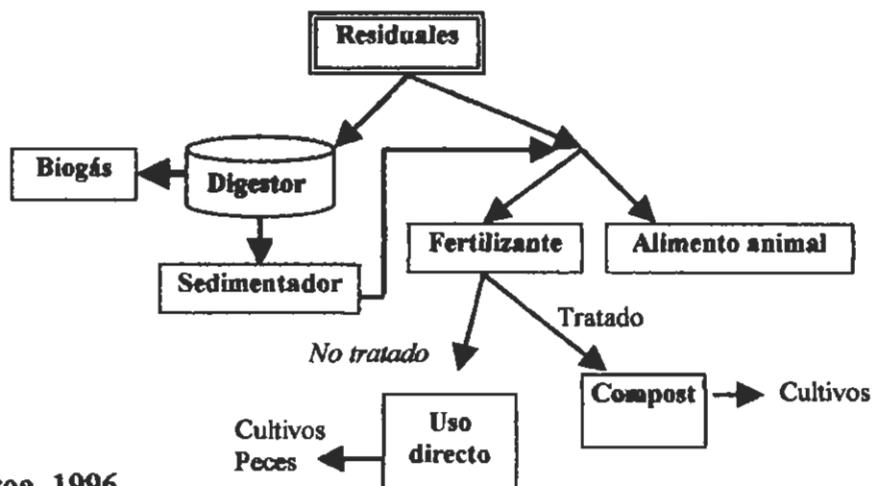
Según Figueroa (1996), los residuales de la producción porcina pueden ser recogidos y utilizados a partir de:

- Residuales crudos (sin tratamiento), en estado sólido cuando se extraen directamente de los establos.
- Residuales sólidos obtenidos de los lugares donde se generan y sometidos a tratamientos para la obtención de desechos orgánicos fermentados (compost) o desechos orgánicos fermentados de lombrices (vermi-compost). También los residuos

sólidos pueden obtenerse del sedimento que se produce cuando los residuales crudos se tratan por fermentación anaeróbica en biodigestores para la producción de biogás.

En ambos casos pueden tener diferentes usos en función de recursos, condiciones y necesidades del productor, como se presentan a continuación:

**Reciclaje de residuales de porcinos crudo y sólido.**



Fuente: Figueroa, 1996

- Utilización directa en la alimentación animal (fresco, seco o ensilado).
- Como fertilizante, utilizados directamente o tratados (compost y vermi-compost) para abonar cultivos terrestres y acuáticos o para fertilización de lagunas, con el objetivo de producir alimento para peces.

Los residuales totales (heces y orina) se calculan a razón de 0.7 y 5% del peso vivo de los cerdos en base seca y fresca, respectivamente (Figueroa, 1996). Las heces, representan aproximadamente el 46% en base húmeda ó 77% en base seca. A continuación se muestra la cantidad de heces y orina producidos diariamente por diferentes tipos de cerdos:

**Producción de heces y orina procedentes de diferentes tipos de cerdo.**

Tipo de cerdo	Heces (kg/día)	Orina (l/día)	TOTAL (kg/día)
Destetado (30 – 60 días)	10.9 - 1.4	1.6 - 2.0	12.5 – 3.4
Ceba (60 – 220 días)	3.0 - 3.4	3.5 - 4.0	6.5 – 7.4
Cerdo	7.5 - 8.5	8.0 - 9.0	15.5 - 17.5
Verraco	7.0 - 8.0	7.0 - 8.5	14.0 - 16.5

Fuente: Woynarowich (1980).

El volumen y la composición de los residuales porcinos depende de la calidad y característica de los alimentos ingeridos, así como del agua utilizada en la limpieza, influye también de forma importante los procedimientos de recuperación y tratamiento de residuales; la cantidad de nitrógeno que se aprovecha depende del tiempo en que se apliquen los residuales como se presenta a continuación:

**Pérdidas de nitrógeno en diferentes procedimientos de tratamientos de residuales.**

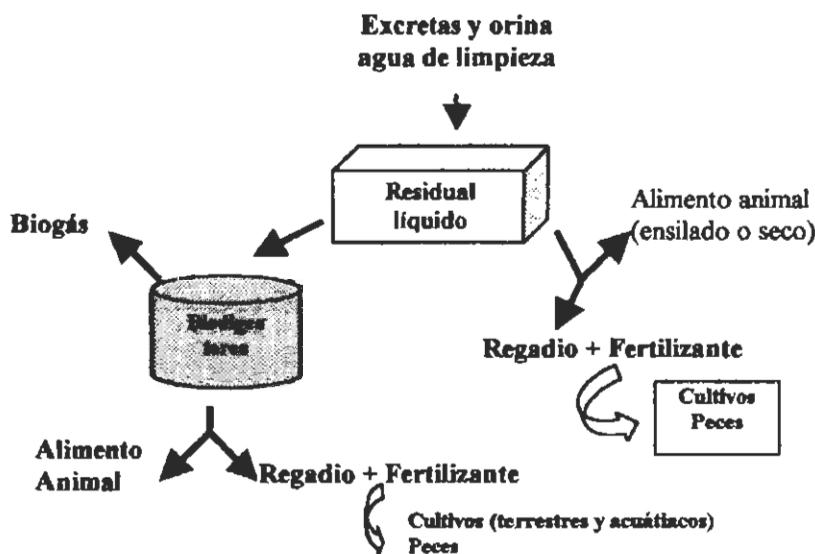
	Efectividad del Nitrógeno (Índice %)
Residuales aplicados inmediatamente	100
Efluentes de biodigestores aplicados inmed.	100
Efluente de biodigestor secado al sol	85
Residual aplicado:	
2 días	80
14 días	55
30 días	50

Fuente: Marchaim (1992)

#### 4.5 Residuales líquidos

Existen varias alternativas para el reciclaje de los residuales líquidos de la crianza porcina algunas de las cuales se muestra a continuación:

**Variantes de reciclaje de residuales líquidos (Figueroa, 1996).**



Cuando las heces y orina son evacuados conjuntamente con el agua de limpieza, los residuales se diluyen considerablemente lo que los convierte, de hecho, en residuales líquidos crudos, los que pueden ser utilizados directamente en la alimentación animal (secos o ensilados), pero tienen una aplicación más generalizada como fertilizante líquido, ya sea evacuado directamente en diferentes sistemas de riego para los cultivos o en lagunas para alimentar peces. Sin embargo, cuando se aplican altas dosis de residuales crudos se necesita a la vez incrementar el volumen de agua que debe utilizarse para evitar la salinidad de los suelos, la contaminación del manto freático o la mortalidad de los peces por falta de oxígeno (Figueroa, 1996).

El tratamiento de los residuales porcinos crudos mediante procedimientos de fermentación metanogénica en biodigestores tiene la ventaja de posibilitar la producción de combustible (biogás) y lograr una disminución apreciable del grado de contaminación de los residuales. Se obtiene a su vez biomasa cuando se utilizan los efluentes del biodigestor como fertilizante para la producción de cultivos terrestres y acuáticos (*Azolla*) y alimento para la ganadería o la acuicultura. Si además de energía y biomasa se dispone del agua final descontaminada para otros usos, se completa una amplia política de reciclaje.

En los procesos de digestión anaeróbica (Biodigestores, sedimentos acuáticos, pantanos y otros medios no gastrointestinales), la materia orgánica es degradada por los microorganismos y se produce dióxido de carbono, a partir del cual las bacterias metanogénicas con un potencial de 33% lo utilizan como sustrato para la producción del metano. En realidad, 70% ó más del metano formado, es obtenido a partir de acetato, y es éste el intermediario clave de todo el proceso fermentativo para este ecosistema. Como consecuencia de la producción de estos gases, tiene lugar una pérdida de sólidos totales orgánicos en el proceso fermentativo con la consiguiente concentración del nitrógeno y otras sustancias en el efluente de los biodigestores (Mah *et al*, 1977).

La composición química de residuales de biodigestores reportada se presenta a continuación:

**Composición química de la entrada y salida de residuales en biodigestores de flujo continuo.**

	Residual crudo (entrada)	Residual digerido (salida)
Sólidos totales (%)	15.4	11.3
Nitrógeno total (g/L)	2.70	1.90
Amoníaco (g/L)	0.62	0.87
Fósforo (g/L)	3.26	2.43
Cenizas (%)	1.96	1.76

Fuente: Marchaim (1992)

La concentración de nutrientes de los residuales porcinos líquidos tanto crudos como efluente de biodigestores, contienen suficientes nutrientes para la fertilización de diferentes cultivos terrestres o el medio acuático para la producción de plantas y alimentos para peces. Se requiere solamente el ajuste de las disoluciones y el conocimiento de la carga óptima necesaria de los residuales que deben aplicarse de acuerdo con los requerimientos de los cultivos o embalses de agua.

La composición química de efluentes de biodigestores reportada es la siguiente:

**Composición química más típica de efluentes de biodigestores que utilizan residual de crianza animal**

	Nutrientes (% MS)		
	N	P	K
Efluente del biodigestor	1.45	1.10	1.10
Efluente secado al sol	1.60	1.40	1.20
Compost de efluente	1.30	1.00	1.00

Fuente: Marchaim (1992)

#### **4.7 La demanda bioquímica de oxígeno y la descontaminación del agua**

La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno que se necesita para que el material orgánico sea procesado, es un indicador del contenido de microorganismos en el cuerpo de agua, siendo uno de los parámetros con el que se mide el nivel de contaminación (Arredondo y Ponce, 1998).

La contaminación por habitante a nivel urbano oscila entre 45.2 y 54 gramos de  $\text{DBO}_5$  por día (Ma *et al* 1981; Aceivala 1981; WHO, 1982), según estas cifras, la contaminación del agua que entra al sistema de descontaminación es equivalente a la producción de 33 a 40 personas.

No obstante, considerando que la cantidad de agua usada por habitante a nivel urbano, varía entre 174 y 270 ppm (Yáñez, 1980; WHO 1982), lo que significa una mayor dilución y facilidad en el tratamiento.

Para estos niveles de contaminación se recomienda los tratamientos primarios (sedimentación de sólidos, remoción de materiales flotantes) que generalmente disminuyen el 35% de  $\text{DBO}_5$  y los secundarios ( procesos de lodos activados, filtración lenta, discos biológicos o lagunas con o sin aereación) que remueven hasta el 85% de  $\text{DBO}_5$  y producen un efluente con 30 ppm de  $\text{DBO}_5$  menos (Yáñez, 1980; Welch, 1992).

#### **4.8. Definición de biodigestor**

Los biodigestores son una estructura física, comúnmente conocido como planta de biogás. La función principal de esta estructura es la de proveer condiciones anaeróbicas a las bacterias. Dado que es una cámara, debe tener presión de aire y agua. Puede estar hecha de varios materiales de construcción y diferente forma y tamaño. La construcción de esta estructura constituye la mayor parte de los costos de inversión (FAO, 1998).

Según los métodos de carga, se diferencian dos categorías:

- ◆ plantas Batch y
- ◆ plantas continuas.

#### **4.8.1. Las plantas tipo Batch:**

Se cargan una vez y quedan cerradas por un tiempo fijo de retención hasta que haya terminado el proceso de fermentación y ya no hay producción de gas. En estas plantas al comienzo hay mucha masa orgánica y pocas bacterias y al final tiene muchas bacterias y casi nada de sustancia orgánica. Por esto no es tan funcional como una planta continua, donde la carga diaria continua de la nueva biomasa, garantiza un balance entre sustancia orgánica y bacteria con producción de gas continua (CVC-GTZ, 1987).

#### **4.8.2 Las plantas continuas:**

Son cargadas en forma periódica, por lo general todos los días. Cualquier tipo de construcción es apropiada para una planta continua, pero el material de fermentación debe ser fluido y uniforme. Las plantas continuas son más apropiados para viviendas campesinas ya que las labores necesarias se pueden integrar más fácilmente en las tareas diarias. La producción de gas es uniforme y es un poco mayor que en las plantas Batch (CVC-GTZ, 1987).

### **4.9 Tipos de plantas de biogás**

#### **4.9.1 Planta de campana flotante**

La planta con campana flotante se compone de un biodigestor en forma de bóveda esférica o cilíndrica y de un depósito de gas móvil en forma de campana flotante. La campana puede flotar directamente en la masa de fermentación o en un anillo de agua cilíndrico. El gas se acumula en la campana, haciéndola subir y luego vuelve a bajar cuando se extrae el

gas a través de un tubo instalado en la campana misma. Para evitar que la campana se ladee, se construye un soporte de hierro como guía. La campana además de subir y bajar, es libre de girar, así puede mover la capa que eventualmente puede flotar en la superficie de la carga de fermentación (CVC-GTZ,1987).

#### Ventajas:

- Manejo fácil.
- Presión de gas constante.
- El gas almacenado es visible a través del nivel de la campana.

#### Desventajas:

- Alto costo de construcción de la campana.
- En la mayoría de los casos, la campana es metálica y por eso sujeta a corrosión.
- Más costos de mantenimiento causado por trabajo de pintura.

### **4.9.2 La planta de cúpula fija**

La CVC-GTZ (1987), establece que la planta con cúpula fija se compone de un biodigestor cerrado en forma de bóveda esférica, con cámara de gas inmóvil y fija. El gas es almacenado en la parte superior del biodigestor. Durante la producción de gas, la masa de fermentación es desplazada hacia el tanque de compensación. Cuando se extrae el gas la masa líquida vuelve hacia el biodigestor. En ese tipo de planta la presión del gas no es constante: aumenta según la cantidad de gas almacenado y disminuye cuando se encuentra poco gas en el depósito.

A través de constantes oscilaciones de la carga de fermentación, en la parte superior de la cúpula se evita la formación de capa flotante.

#### Ventajas:

- Bajos costos de construcción.
- No posee partes móviles.
- No posee partes metálicas que se puedan oxidar.
- Tiene una larga vida útil (aproximadamente 20 años)
- No tiene partes expuestas, por eso está protegida contra bajas temperaturas.

#### Desventajas:

- Presión de gas no es constante.
- La presión puede ser muy alta, por eso la cúpula tiene que ser cuidadosamente sellada; porosidades y grietas pueden afectar la planta.

### **4.9.3 La planta balón**

La misma fuente establece que la planta balón está compuesta de una bolsa de plástico o de caucho completamente sellada. La parte inferior de la bolsa (75% de volumen) se rellena de masa de fermentación, mientras en la parte superior de la bolsa (25%) se almacena el gas. Los tubos de entrada y salida están sujetos directamente a la pared de la bolsa.

El material plástico o de caucho para la planta, tiene que ser elegido con cuidado: resistente a las temperaturas, intemperie y rayos ultravioletas.

#### Ventajas:

- Bajos costos de construcción.
- Fácil transporte.
- Fácil instalación.
- Construcción horizontal y plana que favorece en los lugares con alto nivel freático.

### Desventajas:

- Vida útil es relativamente corta y varía dependiendo el material seleccionado.
- Debe protegerse de los rayos solares y cercarse para evitar daños físicos.
- Debido a la calidad del material se obtienen bajas presiones.

### **4.10 Proceso de fermentación**

Es un proceso biológico que consiste en la descomposición o degradación de materia orgánica (estiércol, desechos de cosechas, etc.) por la acción de bacterias en un ambiente carente de oxígeno mediante el cual libera una mezcla de gas metano (60-70%) y dióxido de carbono (30-40%) durante la fermentación el material orgánico se fragmenta y cuando sale del biodigestor se vuelve más líquido (Preston y Botero, 1995)

### **4.11 Composición del biogás**

El biogás es una mezcla de gas producido por bacterias metanogénicas y su composición depende del tipo de residuo orgánico utilizado para su producción y de las condiciones en que se procesa (Preston y Botero, 1995). La FAO reporta la siguiente composición:

**Composición del biogás**

Componente	Fórmula Química	Porcentaje
Metano	CH <sub>4</sub>	60 – 70
Gas carbónico	CO <sub>2</sub>	30 – 40
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	1 – 0
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0.5
Monóxido de carbono	CO	0.1
Oxígeno	O	0.1
Acido Sulfídrico	H <sub>2</sub> S	0.1

Fuente: FAO 1998.

#### 4.12 La utilización del biogás

El biogás puede ser utilizado para fines domésticos e industriales a través de artefactos como estufas, lámparas, combustibles para motores diesel o gasolina y como bioabono.

Se utiliza como cualquier otro gas combustible. Mezclas de biogás con aire en una relación de 1:20 forman detonante altamente explosivo. Se debe tener cuidado con tuberías de gas que tenga fugas, pero hasta ahora no se ha informado sobre explosiones peligrosas causadas por el biogás (Vargas *et al* , 1992).

El poder calorífico del biogás es de 6 Kwh/m<sup>3</sup>, lo cual equivale más o menos a medio litro de diesel. El poder calorífico aprovechable depende del rendimiento de los quemadores o de los aparatos. El rendimiento es bueno si por ejemplo un litro de agua hierve rápidamente. Este proceso es más largo si el quemador no está bien regulado, en tal caso, el rendimiento es bajo. El suministro de aire influye considerablemente sobre el rendimiento. Una presión de gas de 5 hasta 20 cm. columna de agua, es la más apropiada para cocinar, las lámparas necesitan unos 10 cm columna de agua de presión (CVC-GTZ, 1987).

Para la utilización del gas en motores la presión del gas puede ser baja porque los motores succionan el gas. Las tuberías de gas pueden estar hechas de acero, caucho o plástico (PVC). Se debe tener presente que las mangueras de caucho se vuelven rápidamente porosas y permeables con los rayos solares. Mientras más larga sea la tubería del gas, mayor será la caída de presión (CVC-GTZ, 1987).

**Utilización y consumo del biogás**

Equipo	Consumo de biogás (l/hrs)
Estufa doméstica	150 - 200
Lámparas	120
Calentadores de cerdo y de pollos.	200
Motores de combustión	500 l/h / HP

Fuente: FAO, 1983

## **4. 13 Proceso químico de la biodigestión**

### **4.13.1 Bacterias metanogénicas o metanógenos**

Estas son las bacterias que actúan sobre materiales orgánicos y producen metano y otros gases en el proceso de completar su ciclo de vida en condiciones anaeróbicas. Como organismos vivos, al preferir ciertas condiciones son sensibles a microclimas dentro de los digestores. Hay muchas especies de metanógenos y sus características varían.

Las diferentes bacterias formadoras de metano tiene muchas propiedades fisiológicas en común, pero son heterogéneas en su morfología celular. Algunas tienen forma de barra, otras cocci, mientras que otras se presentan en grupos de cocci conocidas como sarcine. La familia de los metanógenos (Methanobacteriariacea) está dividida en los siguientes cuatro géneros, basado en diferencias citológicas (Alexander, 1961)

A. Bacterias en forma de barra.

- a) Methanobacterias no – esporuladas.
- b) Methanobacilos esporulados.

A. Esféricas.

- a) Sarcinae, Methanosarcina.
- b) De grupos no sarcinos. Methanococcus.

Es necesaria una gran cantidad de conocimientos científicos y experiencia para aislar bacterias metanogénica en cultivo puro y mantenerlas en el laboratorio. Las bacterias metanogénicas se desarrolla lentamente y son sensibles a cambios bruscos de las condiciones físicas y químicas. Por ejemplo, una caída brusca de la temperatura de tan solo 2°C, puede afectar significativamente su crecimiento y tasa de producción de gas (Lagrange, 1979).

### 4.13.2 Digestión

La digestión se refiere a las diferentes reacciones e interacciones que se dan entre los metanógenos, no-metanógenos y substratos alimentos dentro del digestor. Este complejo proceso físico-químico y biológico abarca diferentes factores y etapas de cambio. Este proceso de digestión (metanización) se resume abajo en su forma simple. La desagregación de materiales orgánicos complejos se alcanza en cuatro etapas, tal como se describe a continuación:

#### 4.13.2.1 Etapas del proceso anaeróbico :

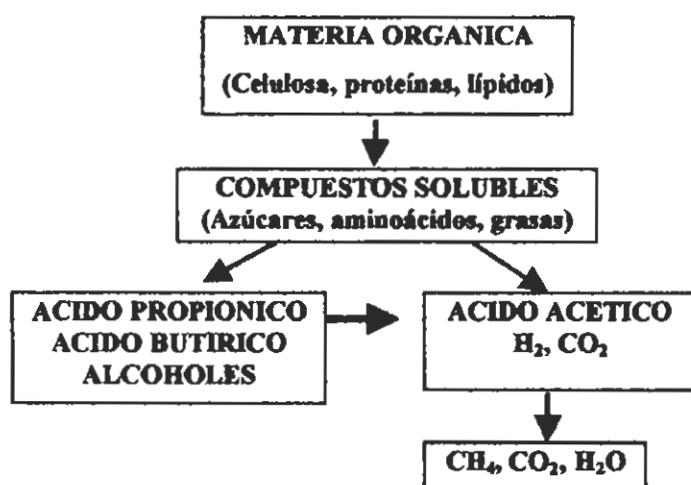
**a) Hidrólisis:** Los substratos complejos como celulosa, proteínas, lípidos, etc. son hidrolizados en compuestos solubles como azúcares, aminoácidos y grasa por la acción de enzimas extracelulares de las bacterias.

**b) Acidogénesis:** Los compuestos solubles son fermentados en ácidos grasos volátiles (ácido acético, propiónico y butírico principalmente), alcoholes, hidrógeno y CO<sub>2</sub>. Esta etapa se conoce también como fermentativa.

**c) Acetanogénesis:** Ocurre cuando las bacterias acetogénicas oxidan el ácido propiónico y butírico hasta ácido acético e hidrógeno que son los verdaderos substratos metanogénicos.

**c) Metanogénesis:** Es cuando el ácido acético y el hidrógeno son tomados dentro de las células bacteriales metanogénicas convirtiéndolos en metano y excretándolo fuera de la célula.

### Diagrama del proceso anaeróbico



Fuente: Vargas *et al*, 1992

#### 4.14 Parámetros del proceso anaeróbico (Vargas *et al*, 1992)

El proceso de tratamiento anaeróbico de la materia orgánica requiere de las siguientes condiciones:

##### 4.14.1 pH

Es un factor muy importante porque determina la inhibición o toxicidad de las bacterias metanogénicas cuando el pH es inferior a 6.0 unidades. Se recomienda mantener el pH en el biodigestor entre 6.5 y 7.5 unidades. Cuando se establece la digestión, el pH llega a 7.0 y el mezclado se amortigua, es decir la concentración de iones hidrógenos permanecen constante, incluso cuando se le añaden cantidades relativamente grande de ácidos o álcalis. Si la capacidad amortiguadora se destruye, el pH disminuye y el biodigestor cesa de funcionar, lo cual se percibe porque emite olores desagradables y se necesitan, muchos días e incluso meses para que vuelva a funcionar (Arredondo, 1997).

#### 4.14.2 Temperatura

De acuerdo con la temperatura los ambientes anaeróbicos pueden dividirse en tres categorías:

- Psicofilicos: 0-20°C
- Mesofilicos: 20-45°C
- Termofilicos: 45-97°C

Casi todos los digestores funcionan entre los límites de las temperaturas mesófila (20-45°C), siendo la mayor velocidad de digestión a los 40°C, por esta razón hay que cuidar la temperatura de los digestores, ya que una disminución repentina puede detener la producción de metano y la consecuente acumulación de ácido, debido a que las bacterias no pueden utilizarlos a la misma velocidad con que se producen y estos se acumulan en una espuma, lo que debe ser evitado, mezclando los contenidos del digestor y manteniendo la temperatura lo más uniforme posible (Arredondo, 1993).

#### 4.14.3 Tiempo de retención hidráulica

Es el periodo de tiempo que permanece la materia orgánica dentro del sistema para alcanzar la degradación y está directamente relacionado con la temperatura ambiental.

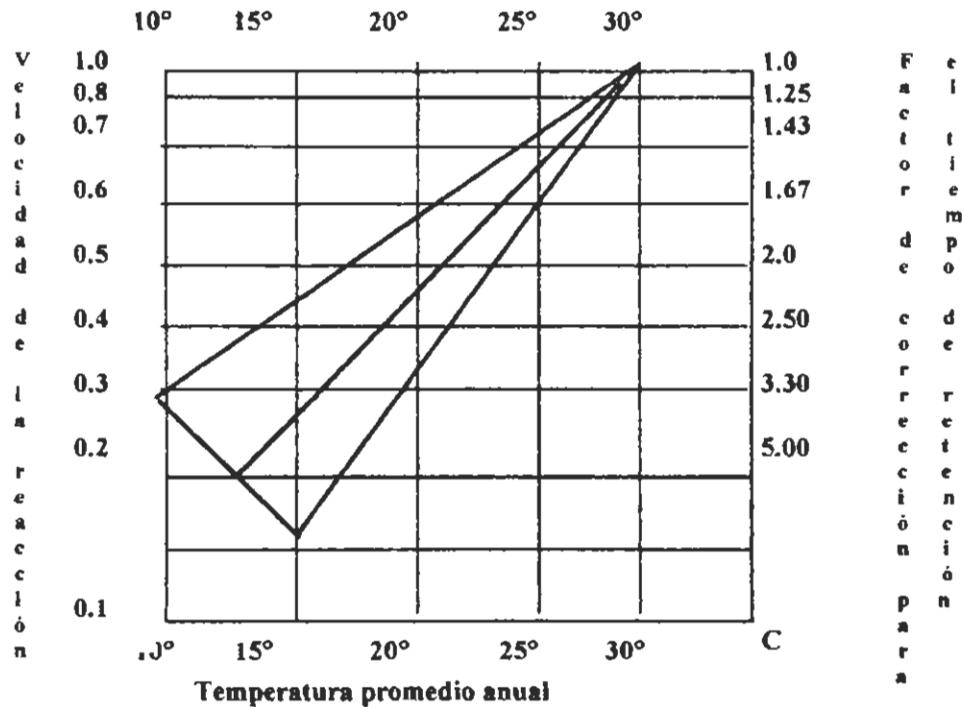
##### Tiempo de retención según el rango de temperatura

Rango de Temperatura	Tiempo de retención
Psicofilico	> 40 días
Sofilico (Mesofilico)	10 – 40 días
Termofilico	< 10 días

Fuente: Vargas *et al*, 1992.

En condiciones óptimas de temperatura (30°C), el tiempo de retención (TR) es de 20 días, para otras temperaturas el TR varía de acuerdo al factor que se determina en el siguiente gráfico según Vargas *et al* (1992).

## Influencia de la temperatura sobre el tiempo de retención



### 4.14.4 Relación carbono / nitrógeno

La relación entre la cantidad de carbono y nitrógeno presente en materiales orgánicos se expresa en términos de ratio carbono / nitrógeno (C/N). Un ratio C/N entre los rangos 20 a 30 se considera óptimo para la digestión anaeróbica. Si el ratio C/N es muy alto, el nitrógeno se consumirá rápidamente por los metanógenos para alcanzar sus necesidades proteínicas y no reaccionarán más al material de carbono restante. Como resultado, la producción de gas sería baja. Por otro lado, si el ratio C/N es muy bajo, se liberará el nitrógeno y se acumulará en forma de amonio ( $\text{NH}_4$ ) incrementará el valor del pH del contenido en el digestor. Un pH mayor de 8.5 empezará a tener efectos tóxicos en la población metanógena (FAO, 1998).

El desperdicio animal particularmente el excremento bovino, tiene un ratio C/N promedio de alrededor de 24. Los materiales vegetativos tales como cáscara y aserrín contienen un mayor porcentaje de carbón. Los excrementos humanos tienen un ratio C/N tan bajo como 8. El ratio C/N de algunos de los materiales más usados se presenta en la siguiente tabla:

**Ratio C/N de algunos materiales orgánicos.**

Material de desperdicio	Ratio C/N
Excremento de pato	8
“ humano	8
“ de pollo	10
“ de cabra	12
“ de cerdo	18
“ de oveja	19
“ de bovino/búfalo	24
Aguas Negras	25
Excremento de elefante	43
Cáscara de maíz	60
“ de arroz	70
“ de trigo	90
Desperdicio de cosecha	más de 200

Fuente: Karki y Dixit, (1984.)

Los materiales con un alto ratio C/N pueden mezclarse con aquellos de bajo ratio C/N para alcanzar el ratio promedio deseable. En China, para balancear el ratio C/N, se acostumbra a echar cáscara de arroz al fondo del biodigestor, descargando desperdicio de letrina encima. De igual manera, en el Macham Wildlife Resort (Nepal) alimentar el digestor con excremento de elefante en conjunto con excremento humano les permite balancear el ratio C/N para una correcta producción de biogás (Karki *et al*, 1994).

#### 4.14.5 Suministro de excretas al biodigestor

Para obtener producción diaria de biogás es necesario alimentar el biodigestor con la misma frecuencia. Si el lavado de las instalaciones para el alojamiento de animales se

realiza diariamente, es conveniente que el desagüe de los pisos esté en conexión directa con el biodigestor y que pase a un interruptor manual para desviar y evitar la entrada de exceso de agua del lavado, mezclada con las excretas (Preston y Botero *et al*,1995).

#### **4.14.6 Proporción entre excretas y agua**

Las excretas sólidas (estiércol) contienen en promedio 20% de materia seca. Deben ingresar al biodigestor como una suspensión en agua del 4 al 5% de materia seca, esto significa en términos prácticos una mezcla de 4 partes de agua por una parte de estiércol fresco.

Se considera que para el mantenimiento diario de un biodigestor de 9 m<sup>3</sup> de volumen es necesario tener una población animal mínima de:

- Un bovino adulto de cualquier tipo.
- Un caballo, un mular o asno confinados durante 12 horas diarias.
- 30 ovejas, cabras, cerdos en levante ó 5 cerdas de cría confinados permanentemente.
- Un plantel de 100 conejos o de 200 cuyes.

Cualquier combinación de especies animales que permita obtener 30 kg/día de estiércol fresco. Se pueden utilizar hasta 10 partes de agua por una de estiércol, según el número y especie de animales, por ejemplo el estiércol de cerdo es mas metanogénico que el de otras especies animales.

#### **4.14.7 Producción de estiércol por animal**

La cantidad y composición del estiércol producido por las diferentes especies animales varían con el peso del animal, la cantidad y calidad del alimento que consume. La producción diaria aproximada de estiércol (base fresca), de algunas especies animales se observa en el siguiente cuadro:

### Producción de estiércol de diversas especies animales

Especie Animal	Estiércol producido (kg)
Bovinos para carne o doble propósito	6
Bovinos lecheros	8
Equino, mular o asnal	7
Oveja o cabra	4
Cerdo	4
Conejo o cuy	3

Base húmeda, por cada 100 Kg de peso vivo

Fuente: CVC-GTZ, 1987

Si se considera que en Nicaragua existen aproximadamente unos 450,000 cerdos manejados empíricamente, sobre todo en los patios, sin contar con ningún tipo de infraestructura y ninguna práctica de manejo zoonosanitario y de alimentación (Oporta., 1977), se estima una producción promedio de estiércol de 1,800 toneladas y disponible para reciclarla.

#### 4.15 Abonos orgánicos y la agricultura orgánica

Debido a que los fertilizantes nitrogenados provocan graves problemas, tales como: formación de una costra dura de baja fertilidad en el suelo, baja eficiencia del fertilizante químico, lo que hace necesario emplearlo en mayores volúmenes por lo cual el elemento de producción se hace menos conveniente por su elevado costo, baja rentabilidad, alteración de la nutrición del cultivo, baja resistencia a las enfermedades, grave lixiviación de nitratos y degradación de las aguas, rápida degradación de los cultivos, etc. Para solucionar estos problemas, la fertilización química debe aplicarse en dosis racionales (FAO, 1984). Considerando que dentro de los problemas de la agricultura se encuentra el déficit de abono, se han realizado investigaciones con el objeto de resolver este problema; y es así que los biodigestores han llegado a ocupar un lugar importante en la agricultura ya

que el abono orgánico es uno de los tantos beneficios que proporciona esta tecnología (FAO, 1984).

#### **4.16. Uso del efluente del biodigestor**

Durante el proceso de biodigestión, el efluente pierde todo el olor característico del estiércol que lo originó; puede ser utilizado en el mejoramiento de suelos arcillosos y arenosos que son pobres en humus y como medio nutritivo de las hortalizas y frutales, o en fertilización de estanques para acuicultura, como estímulo a la producción de plancton . El efluente puede ser usado para alimentación animal y como reemplazo parcial o total del agua de bebida (Preston y Botero, 1995).

La instalación de biodigestores en un predio agrícola significa a menudo que los excrementos animales y otros desechos orgánicos sean recolectados en forma sistemática y conducidos por primera vez a un proceso de tratamiento adecuado. Con este sistema descentralizado de tratamiento de desechos se alcanzan diferentes objetivos al mismo tiempo (CVC-GTZ, 1987):

- Reducción de la contaminación de las aguas superficiales con estiércol y otros desechos orgánicos.
- Mejoramiento de la situación higiénica en el predio.
- Producción de energía barata.
- Retención de nutrientes en el predio, los que pueden ser usados para abonar los cultivos.
- El reciclaje de la materia orgánica.
- Evitar la mala utilización de los bosques en la búsqueda de energía (leña para cocinar, etc.).
- Preservar el medio ambiente.

El reciclaje de los nutrientes es, sobre todo para los pequeños propietarios, de importancia económica. Muchos de ellos realizan una explotación de auto-subsistencia, por lo que las

entradas en dinero son reducidas y se destinan a cubrir necesidades de la familia de tal manera que los recursos para comprar abonos son bajos o simplemente inexistentes. El uso adecuado de los nutrientes reciclados pueden ser en estos predios, un aporte importante para mejorar la situación económica y alimenticia de la familia (CVC-GTZ,1987).

En la literatura internacional se encuentran algunos trabajos, donde la aplicación de efluente fue más efectiva que la de afluente, usando cantidades netas similares de nutrientes. Esto significa que el paso de los desechos orgánicos a través de los biodigestores, aumenta la disponibilidad de los nutrientes. La explicación de este fenómeno se encuentra en las transformaciones de los desechos en el biodigestor, según la composición química del afluente y del efluente del biodigestor de FUNDAEC obtenidos en 1986, la cual es cargada con estiércol de cerdo (CVC-GTZ,1987).

La fuerte disminución del contenido de carbono en el efluente en comparación con el afluente, por efecto de la producción de biogás, origina una reducción de la relación carbono - nitrógeno, como consecuencia de esto, el nitrógeno orgánico en el efluente puede ser mineralizado más rápidamente que el incorporado en la materia orgánica del afluente, y así aumenta también su disponibilidad para las plantas. Además se puede observar un ligero aumento del contenido de fósforo y potasio en el efluente. El aumento del contenido de nitrógeno amoniacal no sólo trae consigo un aumento del nitrógeno disponible para las plantas, sino también un aumento del riesgo de pérdidas de nitrógeno por volatilización después de la aplicación al campo (CVC-GTZ,1987).

Trabajos realizados en Egipto el Cairo, en 1984, se compararon los efectos de bioabonos con aplicaciones de abonos minerales sobre diferentes cultivos, demostraron que bajo cantidades de nutrientes netas similares, el bioabono produjo rendimientos más altos que los abonos mineralizados. Estos resultados fueron explicados por medio del efecto de los micronutrientes contenidos en el bioabono y que faltaban en el abono mineral (CVC-GTZ, 1987).

Se ha comprobado que los bioabonos llamados afluentes (que consta de estiércol de cerdo y del agua de lavado de la marranera) y efluentes (producido por los biodigestores), son de mucha ayuda, ya que aumentan el rendimiento de los cultivos y son de menor costo, que los abonos mineralizados comerciales. En ensayos hechos en Colombia por la CVC-GTZ (1987), se ha comprobado que la aplicación de efluente es más efectiva que la de afluente, es decir, que el estiércol tratado en el biodigestor tiene un poder abonante más alto que el no tratado.

#### 4.17. Valor del efluente del biodigestor como fertilizante

El efluente del biodigestor es un abono orgánico, puesto que la digestión comparada con la descomposición de las excretas al aire libre, disminuye las pérdidas de nitrógeno del 18% al 1% y 33% al 7% para el carbono. Dentro del biodigestor no existen pérdidas apreciables para el fósforo, potasio y calcio, contenidas en las excretas (Preston y Botero 1995).

El contenido de nitrógeno, fósforo y potasio comparado entre estiércol de bovino (fresco y biodigerido), durante 30 días, se aprecia en el siguiente cuadro:

Contenido N, P, K en estiércol fresco y biodigerido en bovinos.

ESTIÉRCOL	CONTENIDO DE		
	N (% MS)	P (% MS)	K (% MS)
Fresco	2.0 - 0.08	0.6 - 0.2	1.7
Biodigerido	2.6 - 0.10	1.4 - 0.2	1.0

Fuente: Gómez y Viniegra (1972)

#### 4.18. Protecciones adicionales al biodigestor

El biodigestor debe ser techado con materiales rústicos y de producción local (bambú, cogollo de caña, hoja de palma, etc.), para:

- 1- Disminuir la condensación interna de humedad.

- 2- Impedir la entrada de los rayos ultravioletas del sol que queman el polietileno y disminuyen su vida útil.
- 3- Evitar la caída de objetos que rompan el plástico.

La fosa debe ser protegida con una cerca alrededor, para evitar la caída accidental de personas o animales sobre la bolsa del biodigestor, lo que podría ocasionar su rompimiento (Preston y Botero,1995).

## **V. MATERIALES Y METODOS**

### **5.1 Ubicación geográfica**

El experimento se realizó en la granja experimental Porcina Santa Rosa de la Universidad Nacional Agraria, localizada en el kilómetro 13 carretera Norte, desvío a Sábana Grande, Managua Nicaragua; ubicada a los 86° 9' 36" Longitud Oeste y los 12° 8' 15" Latitud Norte con una elevación de 56 m.s.n.m. con precipitación anual de 1,132.07 mm, temperatura anual de 27.08°C y una humedad relativa de 73.2%.

### **5.2 Descripción del lugar experimental**

Los cerdos fueron alojados en corrales típicos de 7.5 m<sup>2</sup>, con una disposición de Sur a Norte. Los corrales se conectaron a la caja de entrada de los biodigestores por medio de un tubo PVC.

Los biodigestores (Anexo. 9) fueron de forma tubular plásticos con filtro solar contra rayos ultravioletas, con una capacidad de 9m<sup>3</sup>, alojados dentro de una fosa de 10 metros de longitud por 1m de alto. La caja de entrada de los biodigestores tiene una capacidad de 1 m<sup>3</sup> y la de salida de 0.35 m<sup>3</sup>, construidas con ladrillos de barro.

A cada biodigestor se le colocó un reservorio con capacidad para almacenar 3 m<sup>3</sup> de gas, del mismo material de biodigestor y conectado a este por la parte superior.

El área de los biodigestores fue techada y cerrada con malla ciclón para protegerlos de la lluvia, el viento y evitar que los animales de la finca y sus alrededores causaran daños irreparables.

### **5.3 Manejo del experimento**

Esta tesis forma parte del proyecto de investigación financiado por la International Foundation Science, que se desarrolla en la granja Santa Rosa de la Universidad Nacional

Agraria, se trabajó con un total de 16 cerdos y dos corrales (8 cerdos por corral, 4 hembras y 4 machos) con pesos de 20 – 30 kg.

La tesis se inició en 1998, pero por el huracán Mitch los biodigestores se destruyeron y hubo que instalarlos de nuevo en el año 1999.

La duración del experimento fue hasta que los cerdos alcanzaron los 90 kg de peso, siendo el tiempo que duró el experimento. Toda la información necesaria se anotó en hojas de registro (Anexo 8).

Los corrales y los cerdos fueron lavados diariamente (Anexo 10). Se midió el agua que se ocupó diariamente en el lavado con un medidor de agua potable instalado antes de la llave de pase.

Se pesó diariamente el estiércol producido por los cerdos para saber cuanto estiércol era procesado por el biodigestor (Anexo 11).

Con la medición del agua gastada para lavar los corrales y los cerdos, y el pesaje del estiércol, se calculó la entrada de sustrato (afluente) a procesar.

Se midió diariamente la producción de gas (Anexo12) producido durante el proceso de biodigestión, para lo cual se instaló un medidor de gas entre el biodigestor tubular plástico y el reservorio de gas.

Se midió diariamente la cantidad de efluente producido al final del proceso de biodigestión para lo cual se utilizó un medidor de agua potable.

Analizando el efluente en los laboratorios UNA y la UNI, se obtuvo la composición química del efluente, con lo que se pudo obtener los aportes de macro y micro nutrientes.

Para llevar el control de calidad se registró diariamente mediciones de pH (Anexo 13) y temperatura para saber la inhibición o toxicidad de las bacterias que estaban interactuando. Además se midió semanalmente el DBO<sub>5</sub> (Demanda Bioquímica de Oxígeno) (Anexo 14) para calcular el porcentaje de descontaminación del material procesado.

Desde que se instalaron los biodigestores, se iniciaron todas las mediciones y seguimiento para determinar el tiempo de retención hidráulica

## 5.4 Descripción de los tratamientos

### 5.4.1 Tratamiento 1

El tratamiento 1 consistió en un biodigestor plástico tubular llenado con estiércol de cerdos alimentados con concentrado comercial, con las características nutritivas de acuerdo a su etiqueta, presentadas a continuación:

**Tabla 1. Composición bromatológica del concentrado**

Tratamientos	PB (%)	EM Kcal/kg.	Ca (%)	P (%)	Metionina + Cistina	Lisina
Concentrado	13	3200	0.5- 1.25	0.20	0.34	0.60

Fuente: Nutrientes para animales S.A.

### 5.4.2. Tratamiento 2

El tratamiento 2 consistió de un biodigestor llenado con estiércol de cerdos alimentados con desperdicios de cocina provenientes del Hotel Las Mercedes, con las características nutritivas, presentadas a continuación:

**Tabla 2. Composición bromatológica de los desperdicios de cocinas**

<b>Tratamientos</b>	<b>MS (%)</b>	<b>PB (%)</b>	<b>EE (%)</b>	<b>FB (%)</b>	<b>Cenizas (%)</b>
<b>Desperdicios de cocina</b>	24.66	13.17	12.42	19.07	4.77

Fuente: Laboratorio Bromatología FACA-UNA

## **5.5. Variables a medir**

### **5.5.1 Producción de estiércol**

Es la cantidad (kg/d) de estiércol que los cerdos excretan cada 24 horas, para ello se pesaron las excretas diariamente a la misma hora.

### **5.5.2. Adición de agua a los biodigestores**

Es la cantidad de agua (lt/d) que se gastaba para lavar los corrales y los cerdos que luego pasa al biodigestor. Esta fue medida con un medidor de agua potable.

### **5.5.3 Producción de efluente**

Es la cantidad de líquido (lt/d) que produce el biodigestor durante el proceso de biodigestión, midiéndose cada 24 horas con un medidor de agua potable.

### **5.5.4 Aporte de nutrientes del efluente como fertilizante**

Es la cantidad de macro y micro elementos que contiene el efluente producido por los biodigestores, esta variable se calcula en función de la composición presentada por los análisis químicos y la producción promedio diaria de efluente.

### **5.5.5 Producción de biogás**

Es la cantidad de gas (lt/d) producido diariamente por el biodigestor durante el proceso de biodigestión, esta se midió con un medidor de gas y se registraron los datos cada 24 horas.

### **5.5.6 Eficiencia del sistema de reciclaje**

Es el porcentaje en el cual se logra disminuir la contaminación del producto, considerando los análisis microbiológicos de la entrada (afluente) y salida (efluente), el DBO<sub>5</sub> (Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días) el que se mide en ppm, además de la temperatura (°C) y el pH para saber la inhibición o toxicidad de las bacterias.

## **5.6 Análisis de laboratorio**

Se realizaron análisis microbiológicos del material proveniente de las cajas de entrada y salida de los biodigestores para saber la cantidad de bacteria antes y después del proceso de biodigestión. Además se realizó análisis químico del estiércol, de los afluentes y efluentes de ambos tratamientos para conocer su composición química como fertilizante.

Al alimento a base de desperdicios de cocina se le realizó análisis bromatológico (Tabla2) para saber su composición, en el caso del concentrado se tomo en cuenta la etiqueta que reporta la empresa comercial (tabla 1), pues es lo que consumirían los animales que producirían el sustrato utilizado en la biodigestión.

## **5.7 Análisis estadístico**

Los datos se analizaron a través del programa estadístico SAS (1997). El ensayo se montó y se analizó como un D.C.A. en arreglo bifactorial donde:

FACTOR A: Semanas

FACTOR B: Tipo de sustrato (Concentrado comercial, desperdicios de cocina)

El Modelo Aditivo Lineal (MAL) para el experimento fue:

$$Y_{ijk} = \mu + S_i + T_j + (ST)_{ij} + E_{ijk}$$

Donde:

$\mu$  = Media poblacional

$S_i$  = Efecto de las semanas analizadas (Factor A)

$T_j$  = Efecto de los dos tipos de sustratos utilizados (Factor B)

$(ST)_{ij}$  = Interacción de las semanas y el sustrato

$E_{ijk}$  = Efecto del error experimental

Se realizó pruebas de separaciones de medias por Tukey al 5%, para determinar la variable de mejor comportamiento por semana y por tratamiento.

## 5.8 Análisis económico

Se realizó un análisis económico con el fin de establecer y comparar los costos y el beneficio económico de los tratamiento utilizados.

La metodología utilizada fue la del análisis de presupuestos parciales para evaluar nueva tecnología con la metodología sugerida por Pérez (1993), para las variables producción de gas y efluente, basándose en el costo de gas y fertilizante comercial, esta metodología considera cuatro partidas básicas que son las siguientes:

Nuevas entradas

- a) Costo reducido (rubro que se piensa sustituir)
- b) Nuevos ingresos (del rubro que se piensa introducir)

Nuevas salidas

- c) Nuevos costos (del rubro que se piensa introducir)
- d) Ingresos reducidos (del rubro que se piensa sustituir)

Las diferencias entre las nuevas entradas (a+b) y las nuevas salidas (c+d) indica si el cambio produce utilidades. Consecuentemente si este es negativo o muy pequeño el cambio se justifica. La utilidad se calcula de la siguiente forma:

$$U = (a+b) - (c+d)$$

Además se hace un análisis comparativo de lo que ahorraría el productor al no comprar los productos comerciales equivalentes (gas propano y NPK), tomando en cuenta la composición química de los productos obtenidos.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSION

Después de analizar los datos obtenidos en este ensayo, los resultados fueron los siguientes:

### 6.1. Agua adicionada al biodigestor

Los valores promedios diarios de litros de agua adicionados al biodigestor se presenta en la Tabla 3. Para los promedios obtenidos en esta variable se presentan valores de la desviación estándar de 32.9 litros.

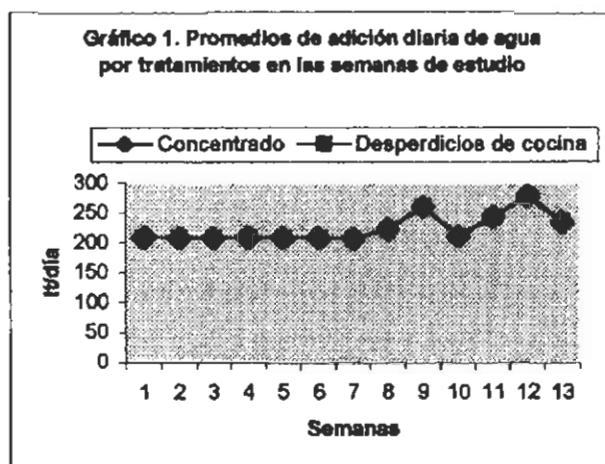
Tabla 3. Promedios diarios, para las variables adición agua, producción de estiércol, de gas y efluente.

Variable	Promedio	Mínimo	Máximo	Desv. Stad.
Agua (lt)	224.37	190	310	± 32.9
Estiércol (kg)	20.58	11	36	± 6.41
Gas (lt)	421.57	24	1549	± 269
Efluente (lt)	97.31	50	160	± 21

El ANDEVA (Anexo 1), para esta variable, presenta efectos significativos solamente por las semanas analizadas y no hay efecto significativo de los tipos de sustratos evaluados, ni de la interacción semana\*tipo de sustratos. Los resultados indican que hay solamente efecto independiente de las semanas sobre la variable agua, o sea que la adición de la misma fue variando en función de la semanas transcurridas en el experimento.

El análisis de separación de medias por Tuckey (Anexo 2) para las semanas evaluadas, indican que hay cuatro grupos claramente definidos que difieren estadísticamente entre ellos y que son iguales o similares dentro de cada grupo, los mayores volúmenes promedios son los del grupo a las semanas 12 y 9 y los mas bajos en la séptima semana.

Según las pruebas de Tukey realizadas para los tratamientos (Anexo 6), la adición de agua también no presentan diferencias estadísticamente significativas, así que el comportamiento es similar en ambos tratamientos.



Este comportamiento diario por tratamiento en las semanas de estudio se observa en el gráfico 1, presentándose los mayores promedios diarios de agua en la semana 12 y los menores en la semana 1.

El comportamiento de esta variable conforme, la semana se debe al crecimiento de los cerdos pues a mayor edad los cerdos alcanzan mayor peso y a la vez producen mayor cantidad de estiércol, por lo tanto se requiere mayor cantidad de agua para el lavado de los corrales y de los animales (Gráfico 2).

## 6.2. Producción de estiércol

La cantidad y composición del estiércol producido por las diferentes especies animales varían con el peso del animal, la cantidad y calidad del alimento que consume.

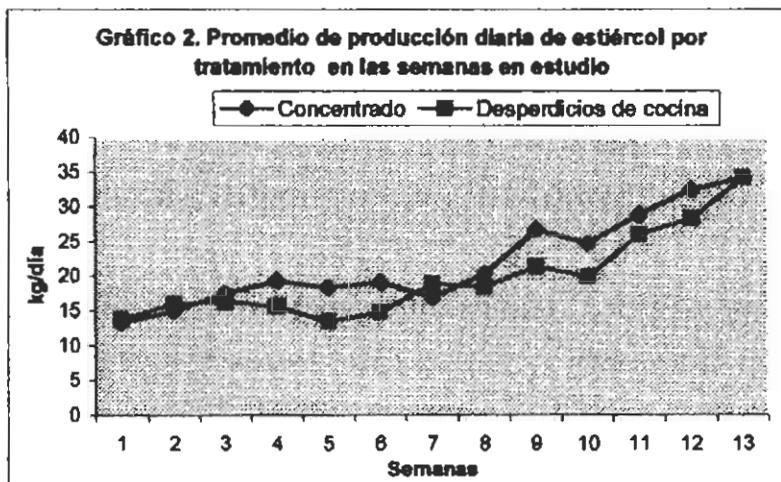
En la Tabla 3 se presenta el promedio general diario de la producción de estiércol, observándose una desviación estándar de 6.41 kg, por lo que se deduce que el promedio general de estiércol producido por animal es de 2.57 kg, así mismo, por tratamiento (Anexo A6) el promedio por animal es mayor en los cerdos alimentados con concentrado (2.75 kg/día) que los alimentados con desperdicios de cocina (2.39 kg/día).

Estos resultados se encuentran en el rango de promedios de producción de estiércol por cerdos, reportados por Figueroa (1996), que es de 0.7 a 5% del peso vivo del animal; la CVC-GTZ (1987) y Añez (1989), que es de 2% del peso vivo.

En el ANDEVA (Anexo 1) la variable producción de estiércol, presenta efectos altamente significativos para las semanas analizadas, el tipo de sustrato y la interacción semanas\*sustrato. Esto se debe que, a medida que pasan las semanas aumentan de peso los animales, hay mayor consumo de alimento y por lo tanto mayor producción de estiércol.

El análisis de separación de medias por Tukey (Anexo 3 ), indica que hay siete grupos claramente definidos que difieren estadísticamente entre ellos y son iguales o similares dentro de cada grupo; teniendo las semanas 11, 12 y 13 los mayores promedios y la semana 1 los mas bajos promedios, lo que concuerda con la fisiología de los animales pues a menor edad el animal tiende a consumir menos alimento y por tanto se espera menor producción de excretas.

Las pruebas de separaciones de media por tratamientos (Anexo 6), presentan para la variable producción de estiércol diferencias estadísticas significativa para ambos tratamientos, presentando los mayores promedios los animales alimentados con concentrado.



El comportamiento promedio diario para esta variable se observa en el Gráfico 2, donde en ambos tratamientos hubo comportamiento creciente en los kilogramos de estiércol producidos, con algunas altas y bajas dentro del período evaluado; la mayor producción de estiércol para ambos tratamientos se observa en la última semana y la menor en la primera semana, de acuerdo al comportamiento fisiológico en relación al peso de los animales.

### **6.3. Producción de biogás**

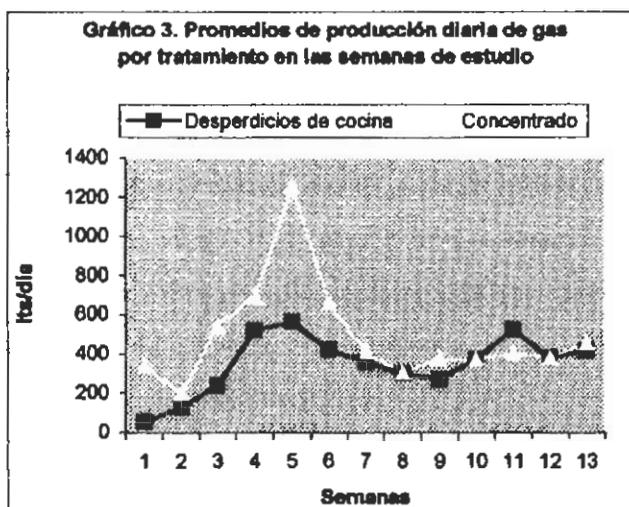
La producción de biogás consiste en la licuefacción y digestión de la materia orgánica, gracias a microorganismos presentes en los mismos desechos. Como producto de este proceso se obtiene un gas combustible que tiene 2/3 partes de metano y 1/3 parte de dióxido de carbono (Chará, 1995)

En la Tabla 3 se presentan los promedios generales de la producción diaria de litros de biogás, siendo de 421.57 litros, con una desviación estándar de  $\pm 269$  litros de biogás.

En el ANDEVA (Anexo 1) para esta variable se presenta un efecto altamente significativo para las semanas analizadas, tipo de sustrato y las semanas\*sustrato; esto significa que a medida que transcurren las semanas, al haber mayor adición de estiércol y agua al biodigestor se aumenta la producción de biogás.

El análisis de separación de medias por Tukey (Anexo 4) indica que hay seis grupos claramente definidos que son diferentes estadísticamente entre ellos y al mismo tiempo son iguales o similares entre sí dentro de cada grupo; el mejor promedio lo presenta el grupo a (semana 5) y los menores se presentan en la semana 2.

El análisis de separación de medias por tratamiento (Anexo 6), presenta diferencias significativas entre los tratamientos para esta variable, presentando superioridad en los promedios el biodigestor que procesó sustrato proveniente de cerdos alimentados con concentrado comercial.



El comportamiento de esta variable por tratamiento conforme las semanas evaluadas se presentan en el Gráfico 3. En general durante todas las semanas se observa superioridad del biodigestor alimentado con sustrato procedente de animales alimentados con concentrados, excepto en la semana 8, 10 y 12 que fue similar al del biodigestor que procesó sustrato proveniente de animales alimentados con desperdicios de cocina, en la semana 5 se observa la mayor producción de biogás y la menor producción en la semana 1 para ambos tratamientos. La mayor producción de biogás se observa en el biodigestor que procesó sustrato provenientes de animales alimentados con concentrados, este comportamiento se debe a que estos son alimentos balanceados y por lo tanto las bacterias trabajan con mayor eficiencia.

Los promedios de producción de biogás en ambos tratamientos (Anexo 6), superan a los reportados por Beteta (1996) y Rodríguez (1996); asimismo el promedio obtenido por el tratamiento 2 es similar y el del tratamiento 1 es superior al reportado por la CVC-GTZ (1987) y Añez, (1989).

#### 6.4. Producción de efluente

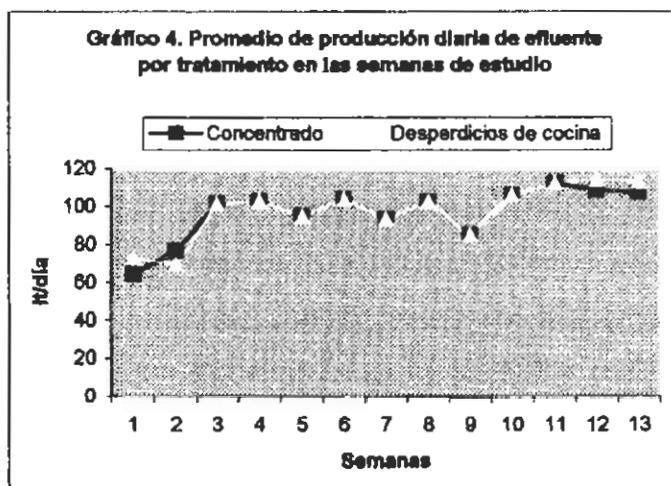
El efluente es el material líquido que se forma durante el proceso de biodigestión del sustrato (estiércol y agua) que entra al biodigestor, el mismo, es un producto con muy buenas propiedades como fertilizante orgánico (Chará, 1995).

El valor promedio general de los litros de efluente producidos se presenta en la Tabla 3, siendo de 97.31 litros, una desviación estándar de  $\pm 21$  litros de efluente.

El ANDEVA (Anexo 1), para esta variable sólo presenta efectos significativos para las semanas analizadas y no hay efecto significativo de los sustratos analizados, ni de la interacción semana\*sustrato. Los resultados indican que sólo hay efecto independiente de la semana sobre la variable efluente, o sea que esta variable solo sufre variación en función del tiempo.

✎ El análisis de separación de medias por Tukey (Anexo 5), indica que hay 5 grupos claramente definidos que difieren estadísticamente uno del otro, pero al mismo tiempo son similares entre si dentro de cada grupo, para esta variable los mayores volúmenes promedios se observan en la semana 11 y los mas bajos en la primera semana.

✎ La separación de medias por tratamientos (Anexo 6), indica que estadísticamente ambos tratamientos tuvieron promedios similares en la producción de efluente.



En el Gráfico 4, se observa para ambos tratamientos un comportamiento similar en todo el período del experimento; observándose en las dos primeras semanas los promedios más bajos y en las últimas semanas los más altos, este comportamiento está acorde con el comportamiento adición de material orgánico (agua y estiércol) que entró a los biodigestores durante las semanas evaluadas (Gráfico 1 y 2).

Los promedios obtenidos para esta variable están un poco por debajo de los reportados por Añez (1989), pero se asemejan a lo reportado por CVC-GTZ (1987) y a lo reportado por Beteta (1996) y Rodríguez (1996).

### 6.5. Aporte de nutrientes del efluente como fertilizante

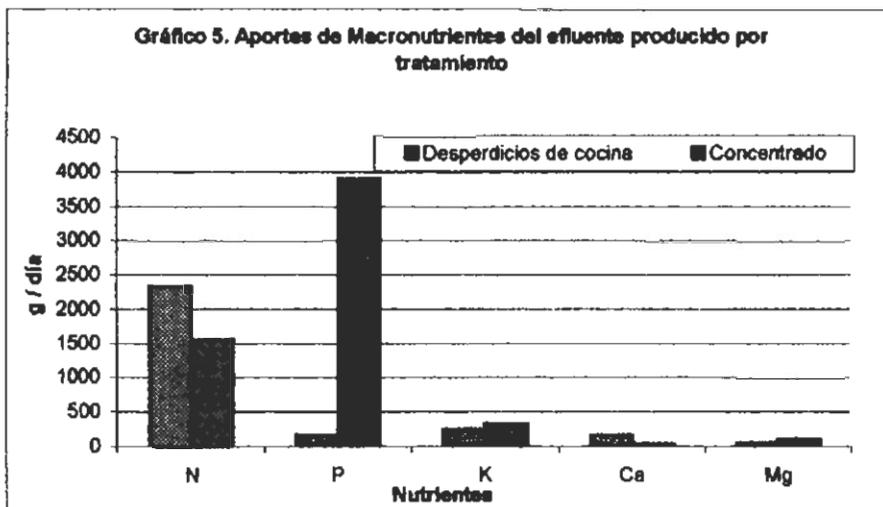
La composición química del efluente producido como fertilizante orgánico, se presenta en la Tabla 4 observándose que el biodigestor que procesó sustrato proveniente de animales alimentados con desperdicios de cocina presentó mayores porcentaje de nitrógeno y calcio, así como ppm de Mn y Zinc, que el que procesó sustrato proveniente de animales alimentados con concentrado, pero presentó menores valores de P, K, Fe y Cu.

Tabla 4. Composición química de los efluentes producidos.

<b>Efluente</b>	<b>N %</b>	<b>P %</b>	<b>K %</b>	<b>Ca %</b>	<b>Mg %</b>	<b>Fe ppm</b>	<b>Cu ppm</b>	<b>Mn ppm</b>	<b>Zn ppm</b>
Desperdicios de cocina	2.39	0.16	0.26	0.16	0.06	225	25	87	37
Concentrado	1.62	0.4	0.34	0.05	0.11	575	100	25	25

Laboratorios de Suelos y Agua. UNA. (1999).

Tomando en cuenta la producción promedio diaria de efluente para cada tratamiento (Anexo 6), se puede decir que hay un aporte diario (Gráfico 5.) de nitrógeno y calcio mayor en el biodigestor que procesó sustrato proveniente de animales alimentados con desperdicios de cocina, en cambio, el mayor aporte de fósforo, potasio y magnesio lo da el biodigestor que procesó sustrato proveniente de animales alimentados con concentrado, estos aportes pueden depender de la composición de los alimentos utilizados para alimentar los animales y la capacidad de las bacterias para procesar el material.



Considerando estos aportes diarios significa que para producir el equivalente a 45.45 kg de fertilizante inorgánico de la fórmula NPK (10-30-10), el tratamiento 1 requiere producir 625.98-752.38-2,963.9 litros de efluente, lo que se logra en 6.39-7.69-30 días. Asimismo el tratamiento 2, requiere 415.53-744.76-3,872 litros de efluente y el mismo lo obtiene en 4.29-7.69-40 días.

Ahora bien, considerando que los 45.45 kg de Urea tiene un 46% de material activo para producir estos 20.25 kg, el tratamiento 1, necesitan producir 1,269.6 litros de efluente, lo que se logra en 12.98 días y el tratamiento 2 necesita producir 841.46 litros lo que lo obtiene en 8.69 días.

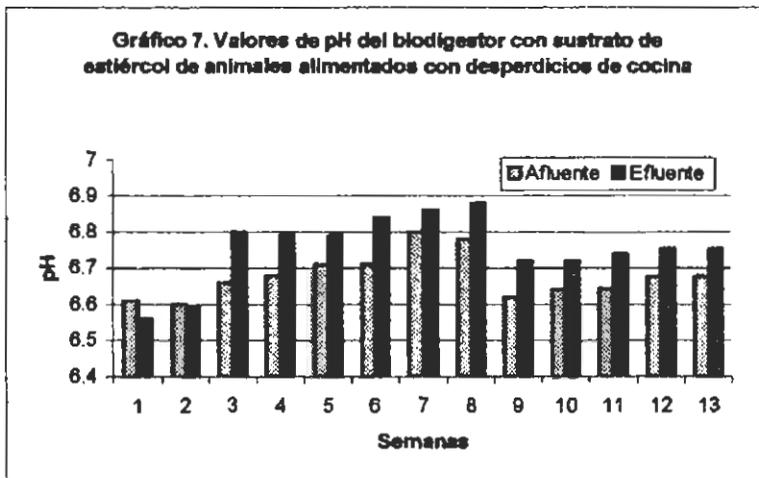
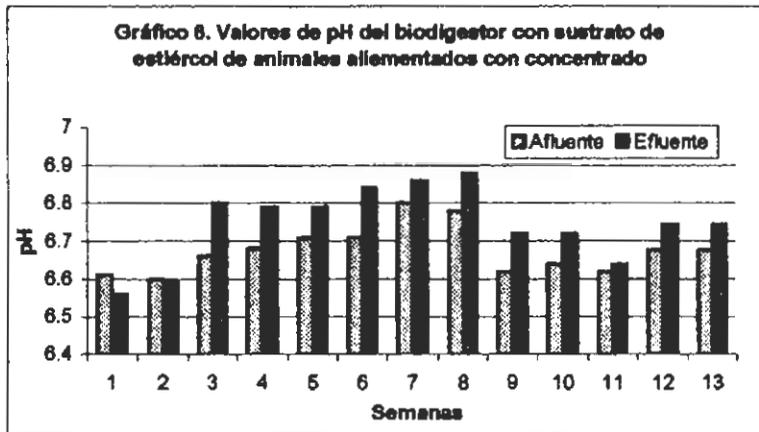
Además el mayor beneficio que se logra es que este fertilizante es un producto que no contamina el ambiente ni al aplicarlo, ni al producirlo y por sus características físicas se distribuye y se absorbe más eficientemente en el suelo.

## 6.6. Eficiencia del sistema de reciclaje

### 6.6.1 pH

Las bacterias responsables del mecanismo de producción del biogás son altamente sensibles a cambios en el pH.

Para evaluar la eficiencia de los biodigestores como medios de descontaminación, en los gráficos 6 y 7 se observa el comportamiento de los valores de pH para los dos tratamientos en estudio respectivamente, observándose durante las semanas evaluadas valores similares para ambos tratamientos.



Los promedios generales para el pH del afluente y el efluente del tratamiento con sustrato proveniente de animales alimentados con concentrado, así como el del tratamiento de sustrato proveniente de animales alimentados con desperdicio de cocina tuvieron una tendencia a aumentar desde la primera hasta la octava semana, disminuyendo luego hasta la trece semana, siendo aun mayores los promedios que el de las dos primeras.

De acuerdo a los datos, los promedios de pH, fueron similares en ambos tratamientos 6.68 y 6.75 en la entrada y salida respectivamente.

Estos valores de pH registrados en el experimento, están dentro del rango óptimo para la producción de biogás, según Griffis *et al* (1980), quien afirma que el pH se mantiene en ese rango sólo si el biodigestor opera correctamente. Si se torna muy ácido la acción de las bacterias metanogénicas se inhibe y aumenta la proporción de gas carbónico en el biogás; las causas de acidificación pueden ser: cambio excesivo de la carga, permanencia por largo tiempo sin recibir carga, presencia de productos tóxicos en la carga, cambio amplio y repentino de la temperatura interna del biodigestor. La alta acidez se puede corregir al adicionar agua con cal a la fase líquida.

### 6.6.2 Temperatura

Los promedios de temperatura registrados para ambos tratamiento se observan en los gráficos 8y 9.

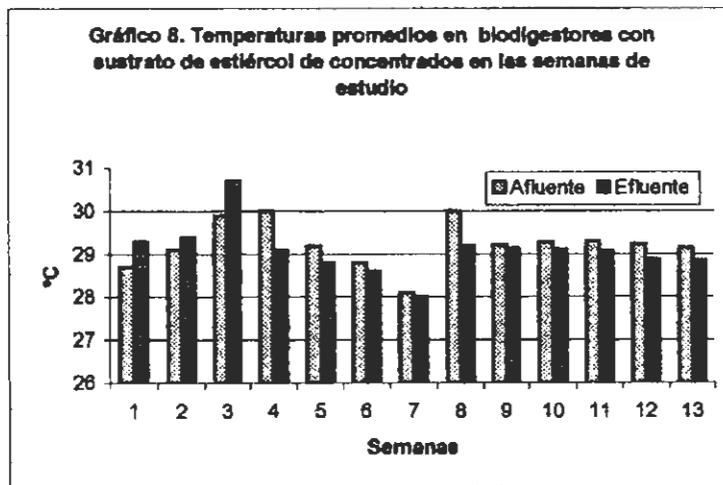
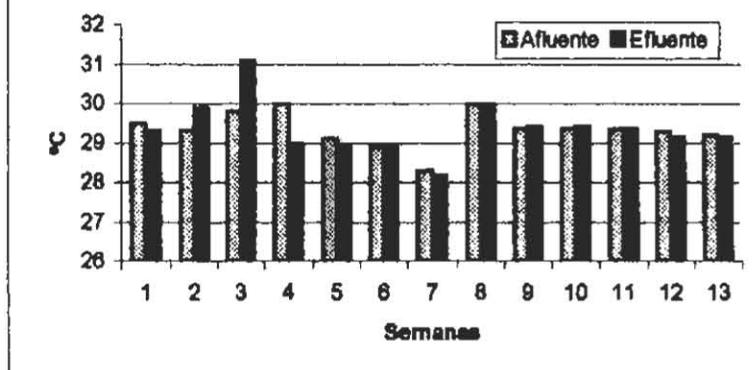


Gráfico 9. Temperaturas promedio en biodigestores con eustrato de estiércol de desperdicios de cocina en las semanas de estudio



El comportamiento de la temperatura, al igual que el pH, fue bastante similar para ambos tratamientos.

Las temperaturas promedio reportadas para el afluente y efluente muestran, tanto en el tratamiento de sustrato proveniente de animales alimentados con concentrado, como en el tratamiento de sustrato proveniente de animales alimentados con desperdicios de cocina, una tendencia a ser similares en todas las semanas analizadas, excepto en la 3, 4 y 8 donde los promedios fueron mayores, así como la 7 semana donde se registraron las temperaturas mas bajas.

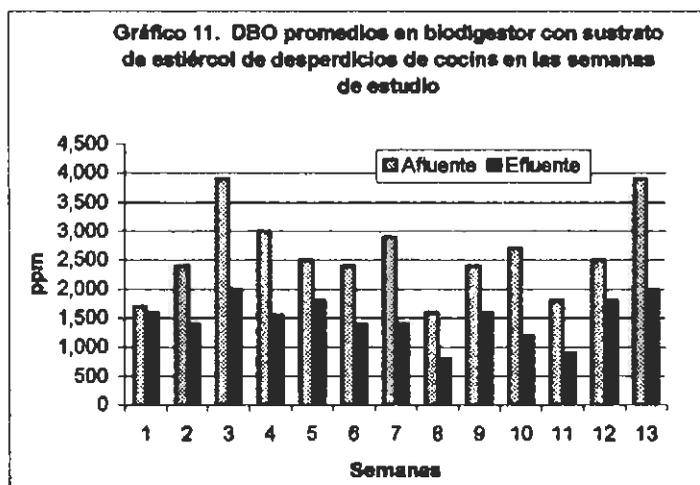
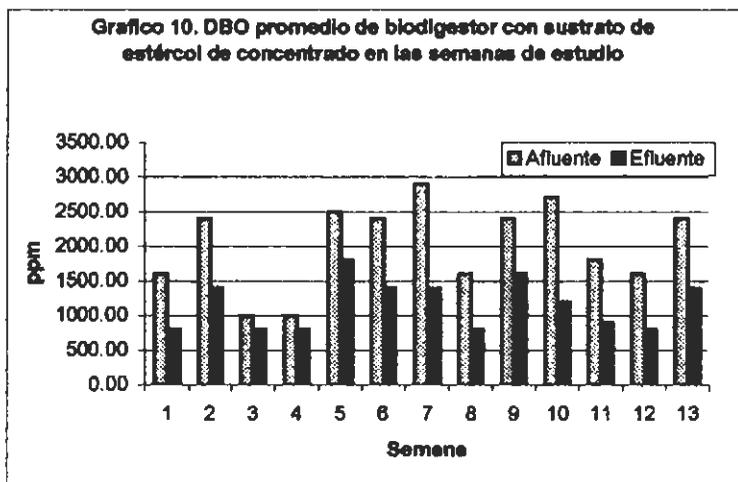
Según los promedios obtenidos para la entrada y salida del biodigestor (29.2 y 29.1°C; 29.4 y 29.3°C), para ambos tratamientos respectivamente, estas temperaturas son superiores a los promedios reportados por An y Preston (1999), quienes reportan promedios de 25.8°C y 26.4°C para el afluente y efluente respectivamente.

Según las categorías de los ambientes anaeróbicos reportados por Arredondo (1993), las temperaturas registradas en este trabajo coinciden con la categoría de temperaturas mesófilas (20 a 45°C), siendo esta, según este autor, la temperatura con la que funcionan correctamente los biodigestores.

### 6.6.3 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

Uno de los parámetros de mayor utilidad para medir la eficiencia de la descontaminación de las aguas es la Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días (DBO<sub>5</sub>).

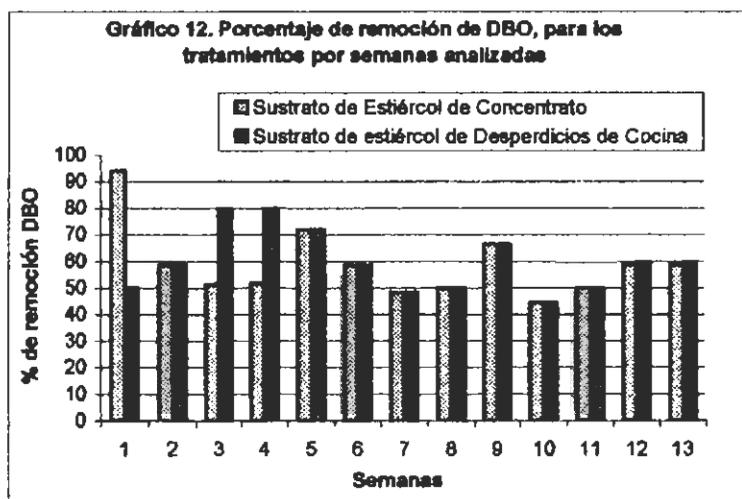
El comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días para ambos tratamientos se presenta en los gráficos 10 y 11.



El comportamiento de esta variable fue bastante similar para ambos tratamientos, observándose tanto a la entrada y la salida una tendencia a aumentar las ppm de DBO<sub>5</sub>,

siendo los promedios mayores en las cajas de entrada, que es el material que va a ser procesado.

De acuerdo al Grafico 12, donde se muestra el comportamiento de la remoción (o reducción), de  $DBO_5$  por tratamiento de acuerdo a las semanas evaluadas, el comportamiento para ambos tratamientos tiende a ser similar, excepto en las semanas 1 que hay mayor reducción de  $DBO_5$ , en el tratamiento 1 y en la semana 3 y 4 que hay mayor reducción de  $DBO_5$ , en el tratamiento 2.



Los promedios registrados, demuestra que el efluente tiene menor porcentaje de  $DBO_5$  que el desecho original, pues los promedios de remoción (o reducción) de acuerdo a los datos fueron, para el tratamiento 1, de 59.82% y para el tratamiento 2, de 58.65%, ambos porcentajes pueden considerarse buenos, tomando en cuenta que este es el primer tratamiento que se le da a las aguas residuales.

Los porcentajes de remoción son superiores a los reportados por Chará (1995), quien obtuvo un porcentaje de remoción de  $DBO_5$  de 35%, analizando las agua que salían de los establos (2700 ppm) y el efluente del biodigestor (1743 ppm), el mismo autor en otro trabajo realizado en el mismo año reporta porcentajes de remoción de 60%. Sin embargo son inferiores a los que reporta Govindan (1987), quien en un sistema de tratamiento biológico realizado en Madras, India, empleando tres sistemas de descontaminación de aguas servidas, se logró un porcentaje de remoción de 77%.

### 6.6.4 Porcentaje de remoción de coliformes fecales

Los análisis microbiológicos realizados en las cajas de entrada y salida del biodigestor (Tabla 5.), muestra una eficiencia del proceso de biodigestión en relación a la reducción del contenido de coliformes fecales, observándose una mayor eficiencia en el tratamiento 1 en un 8.49 %.

Tabla 5. Porcentaje de remoción de Coliformes fecales en los tratamientos evaluados

Tratamiento	Afluente	Efluente	% de Remoción
Sustrato/animales-concentrado	$1.6 \cdot 10^7$	$2.4 \cdot 10^6$	15%
Sustrato/animales-DDC	$4.3 \cdot 10^7$	$2.8 \cdot 10^6$	6.51 %

Laboratorio microbiológico de análisis de agua, PIDMA-UNI, 1999.

Debe considerarse que estos porcentajes de reducción obtenidos son del primer proceso de descontaminación. Los porcentajes finales de bacterias están aún por debajo de las normas nacionales (art. 53 Disposiciones para el control de la contaminación proveniente de las descargas residuales, domésticas y agropecuarias), según el PIDMA-UNI (1999), esto indica que el producto amerita otra fase de descontaminación.

### 6.7 Análisis económico de los tratamientos

#### 6.7.1 Biogás

El resultado del análisis económico para la producción de biogás se presenta en la tabla 6.

Tabla 6. Análisis económico para el gas por presupuestos parciales

Análisis	Beneficios	Costos	Utilidad
T1 con T2	1. Costo reducido 100% Concentrado T1 \$ 608.75	3. Nuevos costos Desp. de cocina T2 \$ 109.45	
	2. Nuevos ingresos venta venta del gas del T2 \$ 5995.78	4. Ingresos reducidos venta del gas del T1 \$ 8413.47	
Total	1+2=\$ 6604.53	3+4=\$ 8522.92	-1918.39

El análisis reporta una utilidad negativa, lo que indica de acuerdo a la metodología utilizada que no se justifica el uso de desperdicios de cocina.

Lo que influye en la utilidad negativa presentada es que el tratamiento 1.(estiércol de cerdo alimentado con concentrado) produce 12874.77 litros de gas más que el tratamiento 2.(estiércol de cerdo alimentado con desperdicios de cocina), aunque los costos del tratamiento 2 son mas bajos en \$ 499.3 que el tratamiento 1.

### 6.7.2 Efluente

El resultado de los análisis económico para la producción de efluente se presenta en la tabla 7.

Tabla 7. Análisis económico para el efluente por presupuestos parciales

Análisis	Beneficio	Costo	Utilidad
T1 con T2	1.Costo reducido 100% Concentrado T1 \$ 608.75	3.Nuevos costos de DDC T2 \$109.45	
	2.Nuevos ingresos ventas del efluente T2 \$ 135.20	4.Ingresos reducidos ventas del efluentes T1 \$92.7	
Total	1+2=\$ 744.20	3+4=\$ 202.15	\$ 542.05

El análisis reporta una utilidad positiva, lo que indica de acuerdo a la metodología utilizada que se justifica el uso de desperdicios de cocina.

La utilidad reportada en estos resultados se debe a que el tratamiento 2 (estiércol de cerdos alimentado con desperdicios de cocina), produce más nitrógeno en el efluente (Tabla 4), por lo tanto hay mayor aporte de este componente.

Por otro lado, considerando la composición química de los productos del biodigestor (biogás y efluente), si se analiza el ahorro que el productor puede tener al utilizar ambos productos y no comprar el producto comercial en el mercado (Tabla 8), el productor tendría un ahorro diario de 0.365 US con el tratamiento 1y 0.435 US con el tratamiento 2, esto significa 133.225 y 158.775 U.S. al año respectivamente, además de

evitar la contaminación ambiental, al incorporar los desechos a la finca obteniendo estos productos.

Tabla 8. Ahorro diario por productor al utilizar los productos de los biodigestores.

Parámetro	Costo(US//d)		Precio comercio (US)		Utilidad	
	Concentrado	DDC	Concentrado	DDC	Concentrado	DDC
Efluente	0.078	0.071	0.38	0.38	0.302	0.309
Biogás	0.125	0.062	0.188	0.188	0.063	0.126
<b>TOTAL</b>					<b>0.365</b>	<b>0.435</b>

## VII. CONCLUSIONES

Después de analizar los datos obtenidos en el presente trabajo se puede concluir lo siguiente:

- ◆ Los biodigestores tubulares plásticos son una alternativa viable y eficiente para descontaminar los residuales de cerdos (estiércol) que pueden ser incorporados en sus fincas por los productores.
- ◆ El biodigestor plástico que presentó mayor producción de biogás fue el que utilizó sustrato de estiércol proveniente de animales alimentados con concentrados, la mayor producción de biogás en ambos tratamientos se presenta en la semana quinta.
- ◆ Ambos tratamientos presentaron una producción similar de efluente, no presentando diferencias estadísticamente significativas.
- ◆ El tratamiento 1 presentó mayores aportes de Fósforo, Potasio y Magnesio y el Tratamiento 2 de Nitrógeno y Calcio, además de ser un producto que no contamina el ambiente al producirlo ni al aplicarlo.
- ◆ Los valores de pH y Temperatura reportados fueron similares en ambos tratamientos, siendo las última las mesófilas.
- ◆ Los porcentajes de remoción de DBO<sub>5</sub> fueron ligeramente superiores en el tratamiento 1 con (59.82 %), en relación al tratamiento 2 con (58.65 %).
- ◆ El tratamiento que mayor porcentaje de reducción de coliformes fecales presenta fue el tratamiento 1 con un 15%.
- ◆ Según el análisis económico, el tratamiento que presenta mayores utilidades es el tratamiento 1. Asimismo, al utilizarse los productos obtenidos el productor tiene mayor ahorro al año con el tratamiento 2 (158.775 US) que con el Tratamiento 1. (133.225 US)

## **VIII. RECOMENDACIONES**

- ◆ Evaluar la tecnología de biodigestores plásticos como medio de reciclaje de residuales de cerdos en condiciones de producción, en las que el manejo de los mismos sea el que el productor le de, con lo que se podrá comprobar la viabilidad de la tecnología en la producción.

## **IX. BIBLIOGRAFIA**

- Aceivala, S., J. 1981. Waste water treatment disposal In: Pollution Engineering and technology. pp 15.
- Alexander, M. 1961 "Introduction to Soil Microbiology". John Wiley y Sons, pp 231.
- Añez, V. A. 1989. Los biodigestores. Red Nacional de Tecnología Apropriada. Bogotá, Colombia. pp16.
- An, B. A. y Preston, T.R. 1999. Gas production from pig manure fed at different loading rates to polyethylene tubular biodigesters. Livestock Research for Rural Development, Volume 11, Number 1. University of Agriculture & Forestry, Thu Duc, Ho Chi Minh City, Vietnam. pp 9.
- Arredondo, F.J. 1993. Fertilización y Fertilizantes: Su uso y manejo en acuicultura. Libros de texto y manuales de práctica. Universidad Autónoma Metropolitana. pp 203.
- Arredondo, F. J. Y Ponce, P.J. 1998. Calidad del agua en acuicultura, conceptos y Aplicaciones. México. pp 222.
- Beteta, T. B. 1996. Experiences of resycling Manure y indo región of Colombia. Thesis of MSc. Uppsala University. Sweden. pp 68.
- Chará, J. 1995. Producir y Descontaminar: Las ventajas de integrar las actividades agropecuarias con la acuicultura en condiciones tropicales. Tesis. Maestría en desarrollo sostenible de sistemas agrarios. Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. pp 88

- CVC-GTZ. 1987. Difusión de la Tecnología del Biogás en Colombia. deutsche Gesells  
chaft fuer Technisehe Zusammenarbeit (GTZ), Colombia pp.139.
- FAO. 1983 El reciclaje de Materias Orgánicas en la Agricultura de América Latina.  
Boletín de suelos de la FAO, Roma, pp.255.
- FAO. 1984 Reciclaje de Materia Orgánica y Biogás. Una experiencia en China FAO,  
pp.255.
- FAO. 1990 Cultivos Energéticos Alimenticios. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO,  
Roma pp.72.
- FAO. 1992. Prevención de la Contaminación del Agua por la Agricultura y actividades  
afines. FAO, roma, pp.385.
- FAO 1993. a. Anuario de Producción FAO, Roma.
- FAO. 1993 b. La comercialización de Alimentos en grandes centros urbanos de América  
Latina. Boletín de Servicios Agrícolas FAO, Roma, pp.103.
- FAO. 1998. Internet <http://W.WW.fao.org>
- Figueroa V. 1996. Producción Porcina con cultivos Tropicales y reciclaje de Nutrientes  
Fundación CIPAV. Cali Valle del Cauca, Colombia, pp.134.
- Gomez J. y Viniegra G. 1979. Uso de estiércol bovino digerido anacrómicamente como  
fertilizante para vegetales. Producción animal tropical, 4:25-29.
- Govindan, V.S. 1987. Studies on the treatment of waste water for pisciculture and  
agriculture IN: Sustainable clean Water. Proceeding of the regionals workshop in

- limnology water resources management in the developing countries of Asia and the Pacific. University of Malaya Kuala Lumpur Arch Hydrobiol Beih. pp 104.
- Jrffis, C.L., Mote, C. L. and Keinholtz, E. 1980. Methane production from agricultural wastes. Agricultural experimental station, University of Arkansas, Fayetteville, Arkansas U.S.A. pp 48
- Karki, A. B. y Dixit K. 1984. "Biogas Fieldbook". Sahayogi Press, Kathmandu, Nepal.
- Karki, A. B., Gautam K. M. and Karki A. 1994 "Biogás Installation From Elephant Dung at Machan Wildlife Resort, Chitwan, Nepal". Biogás Newsletter, Issue No.45.
- Lagrange, B. 1979 "Biomethane Z: Principles Techniques utilization". EDISUD, La Calade, 12100 Aix – en – Provence, France.
- López, O. y Foldl, G. 2000. Biogás una tecnología para el tratamiento de desechos de mataderos. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua, Nicaragua. pp 4.
- Ma, A., Chow, C. S., Jonh, C., K., Ahmad, I., and Zain I. 1981. Disposal of plant oil mill effluent in Malaysia. A survey proceeding of oil palm in agriculture in the Eighties' Kuala Lumpur.
- Mah, R.A., Ward, D. M., Baresi, L. and Glass, T. P. 1977 Biogenesis of methane. Annual Review of Microbiology pp 341.
- Marchaim, V. 1992 Biogás precesses for sustainable development. FAO Agriculture services Bulletin No.95 FAO, Rome pp 232.
- Muller, Z. O. 1980 Feed from animal wastes: states of knowledge. FAO animal production and Health peper No.18 FAO, Rome. pp 190.

- Oporta, J. A. 1997. Programa nacional de producción animal. Informe técnico animal. INTA, CNIA. Managua, Nicaragua. pp 9
- Pérez, L. 1993. Pautas básicas para el análisis financiero de proyectos agropecuarios, in: proyectos de inversión para pequeñas empresas rurales. Manual de capacitación a técnicos de campo. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José, Costa Rica. Pág. 292.
- PIDMA-UNI. 1999. Reporte de laboratorio. UNI. Managua, Nicaragua. pp2.
- Preston, T. R. and Botero R. 1995. Biodigestores de bajo costo para la producción de gas y fertilizante a partir de excretas, pp 20.
- Rodríguez, J. L. 1996. Appropriate use of local resources in integrated farming system as a strategy for sustainable agriculture in central Vietnam. Thesis of MSc. Uppsala University. Sweden. pp 68.
- Universidad de Antioquia. 1993. El Libro del agua. Medellín. pp 144.
- Vargas, L. and Perilla, A. 1992. Tratamiento de residuos Agropecuarios. Curso Taller Internacional tratamiento de aguas residuales. Corporación autónoma regional del Valle del Cauca – CVC pp.79.
- Welch, E. B. 1992. Ecological effect of waste water. Applied limnology and pollutant effects. 2da edition. Chapman & Hall. Suffolk. pp 425.
- WHO. 1982. Rapid assessment of sources of air, water and land pollution. WHO off set publication. No. 62. Geneva. pp 20.
- Woynaravich, E. 1980. Utilización of Piggery wastes in fish ponds. In: Integrated Agriculture – Aquaculture Farming systems. Eds. RSV Pullin and Z H Shehadeh.

International Centre Of Living Aquatic Resources Management, Phillipines,  
pp.125-128.

Yañez, F. 1980. Evaluation of the San Juan stabilization ponds. Final research report of  
the first phase. CEPIS/OPS. Lima Perú.

## X. ANEXOS

Anexo 1. Análisis de Varianza para las variables adición de agua, producción de gas, estiércol y efluente.

F.V	gl	AGUA		ESTIÉRCOL		GAS		EFLUENTE	
		CM	Sig	CM	Sig	CM	Sig	CM	Sig
Semana	12	7772	*	459.89	***	509437.5	***	2726.1	*
T. Sustrato	1	0	ns	382.94	***	910658.6	***	44.50	n.s
Sem * Sust.	12	0	ns	28.48	***	148069.2	***	51.64	n.s
Error	156	658.43	-	7.78	-	27777.5	-	342.74	
C.V		11.43		13.55		39.53		19.02	

Anexo 2. Pruebas de Tukey para las variable adición de agua diaria conforme las semanas evaluadas.

Semanas	Agua
12	278.14 a
9	260.85 a b
11	244.28 c b
13	235.57 c b
8	224.00 c
10	211.71 c
3	209.00 d
6	209.00 d
1	209.00 d
2	209.00 d
5	209.00 d
4	209.00 d
7	207.71 d

Promedios con distinta letras difieren estadísticamente

Anexo 3. Pruebas de Tukey para las variable producción estiércol diario conforme las semanas evaluadas.

Semanas	Estiércol
12	30.35 a
13	30.21 a
11	27.42 a b
9	24.00 c b
10	22.00 c d
8	19.35 e d
7	17.85 e f
4	17.42 e f
6	16.92 e g f
3	16.85 e g f
5	15.85 e g f
2	15.5 g f
1	13.5 g

Promedios con distinta letras difieren estadísticamente

Anexo 4. Pruebas de Tukey para las variable producción diaria de gas conforme las semanas evaluadas.

Semanas	Gas
5	909.93 a
4	607.57 b
6	540.79 b c
11	465.50 b c d
13	437.14 b c d
3	392.29 e c d
7	385.14 e c d
12	382.43 e c d
10	372.71 e c d f
9	325.00 e d f
8	302.71 e d f
1	196.00 f
2	163.21 f

Promedios con distinta letras difieren estadísticamente

Anexo 5. Pruebas de Tukey para las variable producción diaria de efluente conforme las semanas evaluadas.

Semanas	Efluente
11	112.14 a
12	111.28 a
13	110.00 a
10	105.71 a b
6	103.85 a b
4	102.85 a b
8	102.57 a b
3	101.28 a b
5	95.00 a b c
7	93.57 a b c
9	85.00 d b c e
2	73.14 d b c e
1	68.71 d e

Promedios con distinta letras difieren estadísticamente

Anexo 6. Separaciones de medias Tukey para las variables analizadas de acuerdo a los tratamientos

Variables	Sustrato de concentrado (T <sub>1</sub> )	Sustrato de Desp. Cocina (T <sub>2</sub> )
Agua	224.37      a	224.37      a
Producción de estiércol	22.03      a	19.13      b
Gas	492.31      a	350.84      b
Efluente	97.81      a	96.82      a

Promedios con distinta letras difieren estadísticamente

Anexo 7. Análisis químico del estiércol fresco de los tratamientos

<b>Estiércol Fresco</b>	<b>N %</b>	<b>P %</b>
Concentrado	0.905	0.78
Desperdicios de cocina	0.931	0.614

Fuente: Laboratorio F-Q de Análisis de agua, PIDMA-UNI

Anexo 8. Hojas de Registro utilizadas para tomar los datos del experimento

### CONTROL DE CALIDAD DE ENTRADA BIODIGESTORES

MES:

FECHA	pH	DBO <sub>5</sub>	T <sup>o</sup>	A. Microbiológico
1				
2				
3				
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				

# CONTROL DE CALIDAD DE SALIDA BIODIGESTORES

MES:

FECHA	pH	DBO <sub>5</sub>	T°	A. Microbiológico
1				
2				
3				
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				

# CONTROL DE ENTRADA DE AGUA A LOS BIODIGESTORES

MES:

TRATAMIENTO:

FECHA	AGUA		LITROS DIARIO
	Medida Anterior	Medida Actual	
1			
2			
3			
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			

# CONTROL DE ESTIÉRCOL A LA ENTRADA DE BIODIGESTOR

MES:

TRATAMIENTO:

FECHA	# DE ANIMALES	Kg de Estiércol	OBSERVACION
1			
2			
3			
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			

# CONTROL DE EFLUENTE A LA SALIDA DEL BIODIGESTOR

MES:

TRATAMIENTO:

FECHA	EFLUENTE		Litros diario	OBSERVACION
	Medida anterior	Medida actual		
1				
2				
3				
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				

# CONTROL DE PRODUCCION DE BIOGAS

MES:

TRATAMIENTO:

FECHA	HORA	Medida anterior	Medida Actual	OBSERVACION
1				
2				
3				
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				

**Anexo 9. Protección de los biodigestores plásticos**



**Anexo 10. Lavado de los cerdos y el estiércol que entra a los biodigestores**



**Anexo 11. Pesaje de estiércol producidos por los cerdos del experimento**



**Anexo 12. Medición de gas producido diariamente por los biodigestores**



**Anexo 13. Medición de pH en la entrada y salida de las cajas de entrada y salida de los biodigestores tubulares plásticos**



**Anexo 14. Medición de  $DBO_5$  en las cajas de entrada y salida de los biodigestores tubulares plásticos**

