

UNIVERSIDAD ESTATAL A DISTANCIA
VICERRECTORÍA ACADÉMICA
ESCUELA DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
Programa de Maestría en Manejo de Recursos Naturales

**CAMBIOS AMBIENTALES, SOCIALES Y ECONÓMICOS GENERADOS POR BIODIGESTORES EN
GRANJAS PORCINAS, CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE, COSTA RICA**

Tesis sometida a la consideración del Tribunal Examinador
del Programa de Maestría en Manejo de Recursos Naturales de la
Escuela de Ciencias Exactas y Naturales para optar al grado académico de:

Magister Scientiae en Manejo de Recursos Naturales con Mención en Gestión Ambiental

Eduardo Murillo Marchena

San José, Costa Rica

2007

Esta Tesis ha sido aceptada y aprobada, en su forma presente, por el Tribunal Examinador del Programa de Estudios de la Maestría Académica respectiva de la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales de la UNED, como requisito parcial para optar al grado de:

MAGISTER SCIENTIAE EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES
CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL

Nidia Lobo, Ph.D.
Directora del Sistema de Estudios de Posgrado

Oliver Bach, M.Sc.
Director de Tesis

Olman Díaz, M.Sc.
Director de la Escuela de Ciencias
Exactas y Naturales

Mario Solano, M.Sc.
Lector

Gabriela Jones, M.Sc.
Coordinadora del Programa de Maestría en
Manejo de Recursos Naturales

Allan Astorga, Dr.
Lector

Eduardo Murillo Marchena
Estudiante

Índice de contenidos

	Pág.
1. Título.....	i
2. Dirección.....	ii
3. Resumen.....	iii
4. Palabras Clave.....	iv
5. Summary.....	v
6. Marco Teórico	
6.1. El sistema de biodigestor	
6.1.1. <i>Inicios de la biodigestión.....</i>	1
6.1.2. <i>Productos de la biodigestión.....</i>	1
6.1.3. <i>La utilidad del efluente del biodigestor.....</i>	2
6.1.4. <i>Mecanismos de fermentación anaeróbica.....</i>	5
6.1.5. <i>Factores que influyen en la formación de metano.....</i>	6
6.2. Indicadores de contaminación ambiental.....	7
6.2.1. <i>Indicadores químicos.....</i>	8
6.2.2. <i>Indicadores biológicos.....</i>	8
6.2.3. <i>DBO₅ como indicador de contaminación de aguas.....</i>	9
6.3. Diseño de una planta de biogás.....	10
6.4. Tipos de biodigestores.....	11
6.5. Ventajas de la digestión anaeróbica.....	13
6.6. Transferencia tecnológica e indicadores de cambio social.....	13
6.7. Factores que determinan una adecuada adopción de tecnologías en el campo de los recursos naturales.....	16
6.8. Sistema de producción de cerdos.....	17
6.8.1. <i>Instalaciones y equipo.....</i>	18
6.8.2. <i>Registros de producción.....</i>	19
6.8.3. <i>Comercialización del cerdo.....</i>	20
6.9. Legislación y cambios sociales trascendentales.....	20
7. Introducción.....	25
8. Objetivos	
8.1. General.....	27
8.2. Específicos.....	27

9. Metodología

	Pág.
9.1. Clasificación de la investigación.....	28
9.2. Área de estudio.....	28
9.3. Análisis estadísticos.....	30
9.4. Instrumentos de medición.....	31
9.5. Desarrollo de la investigación.....	38
10. Resultados	
10.1. Resultados del Cuestionario.....	41
10.2. Construcción de la tabla de producción de estiércol.....	53
10.3. Resultados de hoja de campo.....	57
10.4. Resultados de pruebas de laboratorio.....	60
11. Discusión.....	61
12. Referencias Citadas.....	69
13. Comunicaciones personales.....	71
14. Anexos.....	72

Índice de cuadros

	Pág.
Cuadro 1. Potencia y gasto energético en motores de biogás.....	2
Cuadro 2. Porcentajes promedios de nitrógeno y fósforo en el estiércol de algunas especies animales.....	3
Cuadro 3. Comparación de bio-ábono vrs. el fertilizante químico.....	4
Cuadro 4. Requerimientos de espacio según el tipo de animal.....	19
Cuadro 5. Frecuencia mínima de muestreos y análisis para aguas residuales de tipo ordinario.....	21
Cuadro 6. Concentraciones máximas permisibles de contaminantes para la producción agropecuaria.....	22
Cuadro 7. Determinación de variables e instrumentos de medición.....	33
Cuadro 8. Características de las granjas porcinas seleccionadas como población.....	39
Cuadro 9. Distribución del peso de los cerdos en las granjas intervenidas.....	42
Cuadro 10. Dimensión de las fincas de producción.....	42
Cuadro 11. Producción de estiércol por peso del animal según datos del Centro de Investigación en Nutrición Animal de la UCR (CINA) y Publicaciones Profesionales Venezuela (PPV).....	53
Cuadro 12. Forma de cálculo y parámetros para la estimación de DBO ₅ y contenido de macronutrientes según el peso de los cerdos.....	54
Cuadro 13. Producción de estiércol de cerdo según su peso.....	54
Cuadro 14. Características resumen de las unidades de producción porcina intervenidas.....	56
Cuadro 15. Resumen de la situación actual de los cantones donde se instalaron los 40 biodigestores.....	57
Cuadro 16. Resultados de recolección de datos de campo para las unidades productivas.....	58
Cuadro 17. Reporte de análisis de demanda bioquímica de oxígeno y análisis microbiológicos para las granjas porcinas de los señores Wilbert Alvarado y Héctor Barquero, Bagaces.....	60

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Ubicación del área de estudio Cuenca del Río Tempisque.....	29
Figura 2. Ubicación de las sub-cuencas del Río Tempisque.....	29
Figura 3. Distribución de biodigestores por Cantón.....	41
Figura 4. Condiciones de trabajo para el personal dentro de la unidad productiva.....	43
Figura 5. Porquerizas como unidades demostrativas comunales.....	45
Figura 6. Diversificación de actividades dentro de las unidades productivas.....	47
Figura 7. Conocimiento del porcicultor de la contaminación que causa su actividad.....	49
Figura 8. Ubicación de biodigestores y drenajes dentro de la Cuenca del Río Tempisque.....	50
Figura 9. Utilización de energía dentro de la unidad productiva.....	51
Figura 10. Mujeres con poder de decisión.....	52

Lista de abreviaturas

ASOTEM: Asociación para el Manejo de la Cuenca del Río Tempisque

DBO_{5,20}: Demanda Bioquímica de Oxígeno, medida a los cinco días y a 20 grados centígrados

CICA: Centro de Investigación en Contaminación Ambiental

CINA: Centro de Investigación en Nutrición Animal

MAG: Ministerio de Agricultura y Ganadería

PPV: Publicaciones Profesionales Venezuela

UCR: Universidad de Costa Rica

Glosario de términos

Agua residual: Agua que ha recibido un uso y cuya calidad ha sido modificada por la incorporación de agentes contaminantes.

Bio-abóno: Líquido producto de la fermentación anaeróbica de la materia orgánica; con excelentes propiedades fertilizantes.

Biodigestor: Recipiente donde se lleva a cabo la fermentación de materia orgánica.

Biogás: Gas producto de la fermentación del estiércol y/o restos vegetales, proceso llevado a cabo por bacterias en un ambiente anaeróbico.

Contaminante de aguas: Toda aquella sustancia cuya incorporación a un cuerpo de agua natural conlleve el deterioro de la calidad física, química o biológica de este.

Efluente: un líquido que fluye hacia afuera del espacio confinado que lo contiene. En el manejo de aguas residuales se refiere al caudal que sale de la última unidad de conducción o tratamiento.

Escorrentía: Se usa este término para llamar al agua que resbala por encima del terreno hasta llegar a los cauces de arroyos y ríos.

Estabilización biológica anaeróbica: Proceso llevado a cabo sin presencia de oxígeno donde la materia orgánica es degradada por microorganismos, los cuales reciben poca energía y su tasa de crecimiento poblacional es baja.

Sistema de tratamiento de aguas residuales: Toda infraestructura instalada donde se efectúen procesos, físicos, químicos o biológicos, o bien una combinación de ellos, con la finalidad de mejorar la calidad del agua residual, de tal manera que esta pueda ser posteriormente vertida, infiltrada, o reusada, en concordancia con lo dispuesto en la legislación vigente, y con la finalidad de dar tratamiento a la cerdaza y lodos sedimentados, de tal manera que estos puedan ser posteriormente utilizados como fuente de energía, fertilizante, enmienda o mejorador de suelos como sustrato de cultivos agrícolas o bien se utilice en dietas de animales.

Lixiviación: Se llama así al fenómeno de desplazamiento de sustancias solubles o dispersables (arcilla, sales, hierro, humus, nitrógeno) causado por el movimiento de agua en el suelo, y es, por lo tanto, característico de climas húmedos.

1. Título:

Cambios ambientales, sociales y económicos generados por biodigestores en granjas porcinas, Cuenca del río Tempisque, Costa Rica

2. Dirección

Eduardo Murillo Marchena

Maestría en Manejo de Recursos Naturales

Universidad Estatal a Distancia

Costa Rica

Correo electrónico: eduardomurillom@gmail.com
tempiseduardo@costarricense.cr

3. Resumen

La cuenca del Río Tempisque, el sistema hídrico más grande de Costa Rica y uno de los más afectados por actividades antrópicas, enmarca el espacio donde se llevó a cabo la investigación. Ha sufrido una alta contaminación, producto de las industrias y desechos urbanos. La industria agropecuaria convencional contribuye a este problema, debido a que generalmente descarga gran parte de sus residuos al cauce del río o sus afluentes. La porcicultura por las características de sus desechos, representa una de las contaminaciones más fáciles de percibir, tanto por los olores que despide como por evidencia física. Por lo tanto la estabilización de las excretas representa un aspecto esencial. Para este tipo de desechos el biodigestor ha demostrado su efectividad en países como Japón y Taiwán, reduciendo hasta el 85% de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) producida. Para la investigación fueron seleccionadas 40 porquerizas que presentaron condiciones mínimas de infraestructura y volumen de producción que permitían la instalación de un biodigestor. La herramienta principal para la recolección de información era un cuestionario, que se aplicó antes y después de la instalación de los biodigestores, con el fin de señalar los cambios más relevantes en los tres ejes del desarrollo sostenible. Como complemento se diseñó una hoja de campo que permitió evidenciar el nivel de eficiencia en consumo de agua, energía y capacitación, dentro de la unidad productiva con el sistema. Para evidenciar calidad de aguas se realizaron pruebas de laboratorio de $DBO_{5,20}$ y *Coliformes totales*, tanto de la mezcla de materia prima que alimenta el biodigestor, como de su efluente. Para esto se realizó un muestreo simple al azar sin reemplazo, donde se seleccionaron dos unidades productivas. Al finalizar el análisis se encontró que en ninguna de las unidades productivas hubo negación por parte del productor para la instalación y puesta en funcionamiento de los biodigestores a pesar de que cinco cantones no tenían experiencia respectiva. El funcionamiento y uso de los productos del biodigestor han hecho que el 80% de las granjas porcinas intervenidas haya funcionado como unidades demostrativas directas en capacitaciones formales e informales, dentro de la comunidad en que se desarrollan. A la vez se ha logrado demostrar que con el uso de bio-abono y biogás la inversión del sistema es recuperable en menos de dos años. Se constató que la disminución promedio de 120 l/día de agua en el lavado de porquerizas es una reducción estadísticamente significativa y las pruebas de laboratorio demostraron que la $DBO_{5,20}$ y el porcentaje de *Coliformes totales* y *fecales* disminuyeron con el uso del biodigestor hasta en un 99%, lo cual evidencia la eficacia y pertinencia del sistema.

4. Palabras clave

Biodigestor, contaminación, utilización adecuada de recursos, estabilización de desechos, biogás, bioabono.

5. Summary

The Tempisque River basin, the largest system in Costa Rica and one of the most affected by human activities, was the site where this investigation was carried out. It has been subject to contamination, product of the industries and urban waste. The conventional agribusiness industry contributes to this problem, as it generally unloads a great part of its residues in the riverbed or its sources. Pork farming represents one of the easiest contaminations to perceive, both by its smell and its physical evidence. Therefore the stabilization of the emissions represents an essential link. For this type of waste, the biodigestor has shown its effectiveness in Japan and Taiwan, reducing as much as 85% of the Biochemical Demand of Oxygen (DBO) produced. Forty pigsties were selected which represented the minimum conditions of infrastructure and volume of production that permitted the installation of a biodigestor. The main tool for the harvesting of information was a questionnaire that was applied before and after the installation of the biodigestors, in order to indicate the most prominent changes in the three axes of the sustainable development. As a complement, a questionnaire was designed that showed the level of efficiency in water consumption, energy and training, in the productive unit with the system. Laboratory tests of $DBO_{5,20}$ were carried out to analyze water quality. Total Coliformes were sampled, mixture of raw material that feeds the biodigestor its emissions, simple random sampling was carried out without replacement, where two productive units had negative results and the biodigestors functioned despite the fact that these five cantons lacked respective experience. The operation and use of the products of the biodigestor have achieved that 80% of the pork farms have functioned as direct demonstrative units in formal and informal training, in the community in which they are developed. At the same time, the study has managed to show that, with the use of bio-guarantee and biogas, the system investment is recoverable in less than two years. It was verified that the average of 120 l/day of water in the wash of pigsties is reduced in a statistically significant quantity and the laboratory tests showed that the $DBO_{5,20}$ and the percentage of the total Coliformes and fecal matter diminished with the use of the biodigestor as much as 99%, which shows the efficacy and relevance of the system.

6. Marco Teórico

6.1. El sistema de biodigestor

6.1.1. Inicios de la biodigestión

El proceso de biodigestión es un mecanismo natural de transformación y degradación de materia orgánica que se comenzó a explorar desde el año 1808, cuando Sir Humphrey Dhabí colectó el metano producido en los pantanos en forma natural como parte de una investigación enfocada a la producción agrícola. Posteriormente en los años de 1883-1884 Pasteur y Gayón, concluyeron que la fermentación del estiércol en ausencia de aire producía un gas que podía ser usado para la calefacción e iluminación. Para el año de 1896 el biogás fue utilizado en el alumbrado de una calle en Exeter, Inglaterra, siendo ésta la primera aplicación trascendente de este producto (Mandujano, 1981).

6.1.2. Productos de la biodigestión

El biogás es el producto más conocido y utilizado de la biodigestión, constituye una mezcla de gases cuyos principales componentes son el metano y el bióxido de carbono, los cuales se producen como resultado de la fermentación de la materia orgánica en ausencia de aire, por la acción de un grupo de microorganismos.

El biogás se compone de las siguientes moléculas: metano (CH_4) en un 54-70%, bióxido de carbono (CO_2) en un 27-45%, hidrógeno (H_2) en un 1-10%, nitrógeno (N_2) en un 0,3-3% y ácido sulfhídrico (H_2S) en un 0,1%, respectivamente (Mandujano, 1985).

El biogás generalmente se utiliza directamente en quemadores, estufas, lámparas y refrigeradores. Este gas se puede también utilizar en motores de combustión interna, siempre y cuando sean eliminadas las trazas de ácido sulfhídrico (H_2S). Éstas se eliminan haciendo pasar el gas por una trampa de limaduras de hierro (Botero, 1997). En motores de gasolina para la utilización de biogás se hace necesaria la modificación del carburador o la utilización de un carburador para gas. Por otro lado, si se trata de un motor de diesel se recomienda utilizar para su operación 85% biogás y 15% diesel para prevenir daños en inyectores. Existe también la alternativa de utilizar motores especiales para consumo de biogás donde el gasto energético es muy eficiente (Cuadro 1):

Cuadro 1. Potencia y gasto energético en motores de biogás (Pound, 1985)

Potencia 3 600 rpm	Consumo de Gas (m ³ /hora)
2,1 cv	0,92
5,5 cv	2,24
9,0 cv	3,16

El bio-abono es el otro producto de la fermentación anaeróbica de la materia orgánica. Éste es el efluente de biodigestor y se compone de residuos de excelentes propiedades fertilizantes. En promedio se estima que en base seca presenta un pH de 7,5 y tiene la siguiente composición: Materia Orgánica: 85%; Nitrógeno: 2,6%; Fósforo: 1,5% y Potasio 1,0% (Indrick, 1985).

6.1.3. La utilidad del efluente del biodigestor

Dentro del Biodigestor se transforma de un 20% a 50% de la materia orgánica dependiendo de la cantidad de materiales no digerible que tenga la materia prima. La lignina representa entre un 30% y un 40% del material del efluente y no se descompone por procesos anaeróbicos. El resto del efluente se compone de agua, materiales lípidos y celulosos no digeridos y un porcentaje de 10% a 20% del sustrato inicial de las células bacterianas descomponedoras (Mandujano, 1985).

La estabilidad biológica del efluente es evidente porque no favorece la propagación de moscas y se disminuyen en gran medida los malos olores. La materia orgánica que queda sin digerir se descompone en forma lenta por acción de bacterias aeróbicas en el suelo o el agua.

El carbono, el hidrógeno y el oxígeno constituyen aproximadamente el 95% de la pérdida significativa que tiene el sistema. Sin embargo, las plantas toman estos nutrientes del aire o del agua, por lo que su falta en el biofertilizante no es significativa. Del nitrógeno que posee la materia prima, se pierde de un 1% a 2% en la conversión del gas.

Si la materia prima con que se alimenta el Biodigestor ha pasado antes por el sistema digestivo de un animal, se conservan de un 75 a 85% de los nutrientes importantes presentes en el material inicial (Botero, 1990).

La cantidad de nutrientes varía con respecto a:

- El tipo de materia vegetal usada,
- La madurez de la materia vegetal usada,
- La especie del animal que provee la materia prima,
- El programa de alimentación para los animales,
- El grado de vejez del estiércol,
- La eficiencia del proceso anaeróbico.

Para los requerimientos nutricionales de las plantas se recomienda analizar la presencia de nitrógeno que es el nutriente que más necesitan las plantas y más fácil de analizar en formas solubles (Cuadro 2).

Cuadro 2. Porcentajes promedios de nitrógeno y fósforo en el estiércol de algunas especies animales (Indrick, 1985)

Tipo de Animal	Nitrógeno	Fósforo
Ganado de Leche	0,38	0,10
Ganado de Carne	0,70	0,20
Ganado Porcino	0,83	0,47
Oveja	1,00	0,30
Caballo	0,86	0,13
Aves de Corral	1,20	1,20

Durante la descomposición de la materia prima el nitrógeno es liberado en forma amoniacal (NH_4^+) por ser un catión, reacciona con las cargas negativas de la materia orgánica o las arcillas del suelo, lo que lo hace más resistente a la lixiviación en el suelo, como sucede con los nitritos o nitratos. El secamiento del efluente provoca una pérdida de 97% de esta forma de nitrógeno.

En Taiwán se probó el efluente en fertilización de maíz y sorgo donde se evidenció un incremento de 1,1% y 17,2 % con respecto al fertilizante químico. Sin embargo, los nutrientes del efluente se absorben a una tasa menos acelerada que la fórmula química. El resultado del efluente es un almacenamiento acumulativo de sustancias nutritivas debido a la presencia continua de éste en el suelo. A la vez los nutrimentos del efluente son menos lixiviados que los fertilizantes químicos (Hong,1985).

El fertilizante químico a la vez tiene cinco veces más pérdidas de nitratos y contaminación de aguas subterráneas que el orgánico (Cuadro 3).

Cuadro 3. Comparación del bio-abono versus el fertilizante químico (Indrick, 1985)

Fertilizante Químico	Bio-abono
Gran velocidad de absorción de nutrientes por la planta.	La planta absorbe nutrientes más lentamente.
Los nutrientes no se acumulan	Efecto acumulativo de los nutrientes.
Contaminación ambiental por la lixiviación excesiva de nutrientes.	Mínima contaminación.
Alto costo económico y social por dependencia de otros países.	Beneficio económico y social al no depender de otros países.

El bio-fertilizante se ha utilizado en hidroponía con buenos resultados ya que proporciona a la planta humedad y los nutrientes que necesita, sin utilizar tierra. También se ha comprobado que al adicionarse a estanques para peces ayuda a formar su alimento.

El efluente se comporta como un mejorador físico y químico del suelo, donde se aumenta la capacidad de intercambio catiónico del sustrato, lo cual provoca la cementación de partículas de arcilla haciendo más estable la estructura del suelo, lo que le da una buena condición física, por lo que es más resistente a la erosión ya que los agregados formados soportan mejor el impacto destructivo de las gotas de lluvia. También aumenta la infiltración de agua en el suelo lo que significa más agua disponible en la tierra para las plantas.

El efluente se considera muy estable biológicamente debido a la eficiencia de la descomposición de los sólidos volátiles de la materia cruda. Dentro de las ventajas del uso de los lodos se encuentran:

- Posee mayor cantidad de nitrógeno que la materia prima original en base seca, por esto el proceso de digestión se torna más asimilable por las plantas.
- Es un material que ayuda al mejoramiento de suelos.
- No posee olores desagradables.
- No contiene bacterias patógenas, ni semillas de mala hierba, puesto que el proceso de biodigestión las elimina.
- Un metro cúbico de bio-abono puede fertilizar más de 2 Ha/año en un nivel de 200 kg N/Ha.

- El incremento de la producción agrícola por el uso del bio-abono es del orden de 10-20% (Mandujano, 1985).

6.1.4. Mecanismos de fermentación anaeróbica

El biogás es generado a partir de materiales orgánicos (principalmente carbohidratos, proteínas y grasas) por medio de la acción de varias clases de microorganismos en un ambiente anaeróbico.

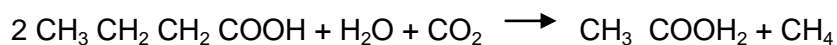
El proceso de fermentación anaeróbica contempla tres fases:

- La primera fase es un proceso de licuefacción: Enzimas extracelulares de ciertas bacterias como celulosa, lipasa y proteasa, hidrolizan externamente la materia orgánica. Así, por ejemplo, los polisacáridos son metabolizados a mono y disacáridos, las proteínas a polipéptidos y aminoácidos, las grasas a glicerol y ácidos grasos, por lo cual la materia sólida en estos casos pasa a ser materia soluble (Canessa, 1985).
- La segunda fase es llamada período de acidogénesis: Los productos de la primera fase penetran en las células bacterianas, donde por medio de endoenzimas son transformados a compuestos micro-moleculares tales como ácidos grasos, alcohol, etc. Estas dos fases son procesos consecutivos en los cuales no se produce metano. Solamente la materia se transforma en compuestos micromoleculares simples, dióxido de carbono e hidrógeno. Sin embargo los ácidos formados de bajo peso molecular, alcohol, CO₂ y H₂ son sustratos para la síntesis de metano (Canessa, 1985).
- La tercera fase es conocida como período productor de metano: Por acción de bacterias totalmente anaeróbicas muy sensibles al oxígeno y otros tipos de agentes oxidantes, son transformados los sustratos de las dos últimas fases en metano. De estas bacterias se han identificado cuatro géneros y once especies (Canessa, 1985).

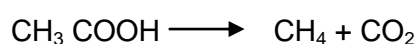
Según el metabolismo de las bacterias el metano es producido de tres maneras:

6.1.4.1. A partir de ácidos volátiles:

Ácido Butanoico + agua + Dióxido de Carbono \longrightarrow Ácido acético + Metano

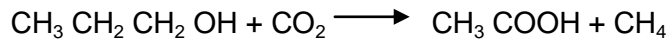


Ácido acético \longrightarrow Metano + Dióxido de Carbono



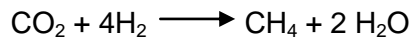
6.1.4.2. A partir de alcohol y dióxido de carbono:

Propanol + Dióxido de Carbono \longrightarrow Acido acético + Metano



6.1.4.3. A partir de la reducción de dióxido de carbono

Dióxido de Carbono + Hidrógeno \longrightarrow Metano + Agua



En resumen, la materia orgánica compleja por descomposición bacteriana se transforma en ácidos orgánicos simples, alcohol, CO_2 y H_2 luego por acción bacteriana se produce metano.

6.1.5. Factores que influyen en la formación de metano

El buen funcionamiento de un biodigestor requiere de cuidados especiales desde el momento de construcción hasta el manejo, cuando ya se encuentra en funcionamiento. Por tanto, se debe tener presente los elementos más significativos que determinarán su éxito como sistema.

6.1.5.1. Rango de temperatura: 15-60 °C y la óptima 30-60 °C. Los biodigestores se construyen enterrados para que se pierda menos calor.

- Rango mesofílico (30-40 °C): las bacterias que se desarrollan en este rango de temperatura se producen fácilmente y pueden permanecer activas si no ocurren cambios súbitos de temperatura. La temperatura óptima es de 35 °C y la mayoría de desechos orgánicos se pueden digerir a esta temperatura produciendo biogás.
- Rango termofílico (55-60 °C): en este rango de temperatura se produce mayor cantidad de biogás que en el anterior y en tiempos más cortos, sin embargo requiere de un control muy preciso.

6.1.5.2. Tiempo de retención: Las bacterias requieren cierto tiempo para degradar la materia orgánica, el cálculo para dimensionar un biodigestor de carga diaria es el siguiente:

$$\text{Volumen del digestor (m}^3\text{)}/\text{Tiempo de retención (días)}=\text{Volumen de carga diaria (m}^3\text{/día)}.$$

Este tiempo es dependiente de la temperatura oscilando entre 20 y 55 días en condiciones normales.

6.1.5.3. Relación Carbono/Nitrógeno: El carbono y el nitrógeno son las fuentes principales de la alimentación de las bacterias formadoras de metano; el carbono es la fuente de energía y el nitrógeno contribuye a la formación de nuevas células. Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que la relación óptima de estos dos elementos en la materia

prima es de 30. Si no existe suficiente nitrógeno para permitir que las bacterias se multipliquen, la velocidad de producción de gas se verá limitada; al estar presente el nitrógeno en exceso, se produce amoníaco, el cual en grandes cantidades es tóxico e inhibe el proceso. En desechos animales la relación entre C/N es siempre menor que la óptima, debido a que tienen un contenido importante de nitrógeno. Por otro lado los residuos agrícolas generalmente tienen relaciones C/N muy altas ya que contienen poco nitrógeno, por lo que se les debe mezclar con desechos animales o agregar urea, para hacer un balance adecuado entre los dos componentes (Yank, 2005).

6.1.5.4. Porcentaje de sólidos: La carga del biodigestor debe tener entre 7% y 9% de sólidos totales para realizar una biodigestión óptima. En estiércol fresco de bovinos, los sólidos totales se encuentran en el rango entre 17% y 20%, por lo que se debe agregar de 1 a 1,5 litros de agua/kg; si existe acidificación, es conveniente la aplicación de agua con cal.

6.1.5.5. Agitación: este proceso facilita la interacción de los microorganismos con la materia prima. En un rango mesófilo, la agitación requerida es muy leve siendo suficiente la descarga diaria. En el caso de biodigestores que trabajan en un rango termofílico, la agitación debe ser continua, proporcionando una temperatura interna más uniforme. El material fibroso tiende a formar una especie de nata en la superficie de la mezcla dentro del biodigestor, por lo que la agitación con medios mecánicos se hace necesaria para tener un mejor resultado (Santana, 1985).

6.2. Indicadores de contaminación ambiental

La cría de animales en cautiverio, con el fin de utilizarlos como fuente de proteína en la alimentación humana, es una práctica bastante generalizada en el nivel mundial. Se estima que en total para la porcicultura, se producen 93 500 000 de toneladas de carne al año, lo que la coloca como la actividad que ocupa el primer lugar de producción y consumo por delante de la producción avícola y la bovina (Ramírez, 2005).

Este tipo de producción genera residuos de grandes proporciones. Se ha comprobado que un cerdo de 50 kg de peso genera un volumen de residuales equivalente al de 5,6 personas adultas, que al ser dispuestos de forma tradicional en el entorno, constituyen contaminantes de las aguas superficiales y del manto freático (Ramírez, 2005).

Es por esta razón que se han buscado criterios para la definición de la calidad del agua, según el uso que tenga y en consecuencia existen diferentes tipos de indicadores, como éstos:

6.2.1. Indicadores químicos

Cuando se produce contaminación fecal en el agua, existe la incorporación de microorganismos de la flora fecal y la incorporación de materia orgánica fecal. Por esta razón se deben emplear para los primeros indicadores microbiológicos mientras que para la materia fecal, lo recomendable es utilizar indicadores químicos (Carvajal, 2006).

Uno de los indicadores químicos más importantes que determinan el grado de contaminación fecal es la materia orgánica, inherente a la contaminación fecal, por lo tanto, constituye un buen indicador pues se detecta y cuantifica fácilmente en el laboratorio.

Los indicadores microbiológicos y químicos se correlacionan aceptablemente, aunque a veces esta correlación depende del tipo de muestras y condiciones de las aguas, por lo que los parámetros químicos facilitan el control de la contaminación fecal, ya que su determinación requiere un menor tiempo (Carvajal, 2006).

6.2.2. Indicadores biológicos

6.2.2.1. Bacterias

Los residuos fecales en el agua incorporan microorganismos patógenos que al estar en contacto o ser ingeridos por los seres humanos, generan grandes problemas de salud, es por este motivo que su detección y control es tan importante. Los indicadores biológicos constituyen un buen parámetro para indicar que existe contaminación fecal en el agua.

Ningún indicador microbiológico es el ideal, pero existen microorganismos de la flora saprófita del intestino del hombre y animales de sangre caliente que ofrecen muy buenas aproximaciones de niveles de contaminación de aguas; dentro de los más importantes están: *Bacteroides fragilis*, *Coliformes totales y fecales*, *Escherichia coli* y *Streptococos fecales* (Mora, 2001).

A la hora de elegir un microorganismo como indicador de contaminación fecal, también se debe tener en cuenta la facilidad de su cultivo. Los *Coliformes fecales* son un subgrupo de los *Coliformes totales*, capaz de fermentar la lactosa a 44,5 °C. Aproximadamente el 95% del grupo de los coliformes presentes en heces está formado por *Escherichia coli* y ciertas especies de *Klebsiella*. Ya que los *Coliformes fecales* se encuentran casi exclusivamente en las heces de los

animales de sangre caliente, se considera que reflejan mejor la presencia de contaminación fecal (Mora, 2001).

Los *Coliformes fecales* se denominan termotolerantes por su capacidad de soportar temperaturas más elevadas. Esta es la característica que diferencia a *Coliformes totales* y *fecales*. La capacidad de los *Coliformes fecales* de reproducirse fuera del intestino de los animales homeotérmicos es favorecida por la existencia de condiciones adecuadas de materia orgánica, pH, humedad. En aguas tratadas, los *Coliformes totales* funcionan como una alerta de que ocurrió contaminación.

Dentro de otros indicadores biológicos también se encuentran virus y parásitos pero considerando todos los tipos de indicadores con sus ventajas y desventajas. En Costa Rica, el Departamento de Control Ambiental del Ministerio de Salud exige para el reporte operacional anual de vertidos de aguas residuales de tipo ordinario de caudal inferior a 50 m³/día incluir el análisis de *Coliformes fecales*.

6.2.3. DBO₅ como indicador de contaminación de aguas

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), hace referencia a la cantidad de oxígeno necesaria para biodegradar la materia orgánica presente en un vertimiento en un período de cinco días. Las unidades correspondientes se deben expresar en carga (t/año) y en carga por tonelada de producto (t/t de producto), el cálculo de este parámetro es éste:

$$\frac{\text{toneladas } DBO_5(\text{como } O_2)}{\text{año}} = \text{Caudal}\left(\frac{m^3}{\text{año}}\right) * \text{Concentración}\left(\frac{\text{toneladas } DBO_5}{m^3}\right)$$

Es un hecho comprobado que el DBO₅ es un indicador excelente de la cantidad de contaminación que posee un cuerpo de agua o los vertidos de tipo ordinario, por tanto es otro parámetro que es obligatorio medir cuando se realiza el reporte operacional anual para las porquerizas. En los biodigestores se realiza un proceso de digestión anaeróbica de desechos orgánicos, donde éstos, al ser fermentados en este medio, disminuyen los niveles de DBO. Adicionalmente, se obtienen productos con un valor económico, tales como fertilizante y biogás (Botero, 2001).

En China, la creciente demanda de cerdos hizo que el Gobierno fijara DBO y sólidos suspendidos en el agua de 200 ppm. Se ha calculado que para alcanzar estos estándares si se utiliza el sistema de biodigestor, se necesita un volumen de almacenamiento de $0,3 \text{ m}^3$ por cerdo, con un tiempo de retención mínimo de 15 días (Hong, 1985).

El costo de tratamiento de excrementos de forma aeróbica se estima en U.S. \$ 30 y \$ 50/cerdo, sin contar el costo de electricidad, además en un sistema de lagunas que es el usado con mayor regularidad, el espacio requerido por cada cerdo es de 12 m^3 . Si la duración de la retención hidráulica es de 12 a 16 días, se estima que puede eliminar hasta el 80% de DBO, además se comprobó que los parásitos y patógenos en los desechos de cerdo mueren o se inhiben después de la fermentación anaeróbica (Hong, 1985).

La deposición de excretas en las fuentes de agua, implica una excesiva cantidad de nutrientes, que desequilibra los sistemas ecológicos naturales, causando un crecimiento desmedido de las plantas acuáticas con la consiguiente degradación del agua, originando en muchas ocasiones la muerte de la fauna acuática.

6.3. Diseño de una planta de biogás

Es un hecho contundente que para poder diseñar un biodigestor se debe considerar de antemano la naturaleza y cantidad de desechos disponibles, así como también las condiciones propias del sitio. Se debe determinar el potencial de producción de gas; por tanto es preciso tener una estimación mínima de la cantidad de materia orgánica disponible y así conseguir una adecuada dimensión del sistema. Dentro de los aspectos más importantes para el diseño de la planta están: ubicación, materiales, técnicas de construcción, forma de operación y mantenimiento.

6.3.1. Localización del Biodigestor: Es indispensable localizarlo en un lugar donde la materia prima esté disponible, en el mejor de los casos para que el sistema sea cargado por gravedad. A la vez se debe considerar no alejarse mucho del punto de utilización del biogás y del bio-abono.

6.3.2. La topografía y el tipo de suelo juegan un papel importante en la determinación del tipo de biodigestor, así como la técnica constructiva y su costo. En terrenos de mucha pendiente o de suelos muy inestables, es precisa la construcción de biodigestores con cimientos firmes de

materiales como cemento y block, por lo que los costos aumentan en comparación con suelos más estables donde la fosa de fermentación puede ser del mismo material plástico que almacena el biogás (Abeles, 1985).

6.3.3. Los niveles de aguas subterráneas pueden también obligar a utilizar cierto tipo de planta o cambiar la ubicación de la misma. Desde el punto de vista meteorológico, el biodigestor debe ser protegido del viento y la lluvia, a la vez en un lugar donde el sol pueda aumentar la temperatura de las instalaciones, con lo cual se disminuye el tiempo en que se realiza el proceso de digestión.

6.3.4 Tiempo de retención: Si se requiere favorecer la producción de gas, se debe trabajar en tiempos de retención cortos, mientras que si se quiere producir bio-abono de más calidad, donde la materia orgánica se degrade lo más posible, habrá que aumentar el tiempo de retención. Es importante por este motivo, al diseñar un sistema de tratamiento de aguas con esta tecnología, involucrar todas estas variables y a la vez, considerar las correspondientes a necesidades humanas. Muchas veces es prioritario dimensionar los biodigestores con respecto a requerimientos de biogás o bio-abono y disponibilidad de los mismos en el tiempo, por lo cual los parámetros de diseño varían drásticamente (Botero, 2000).

6.4. Tipos de biodigestores

En forma general, los biodigestores se clasifican, según su modo de operación así: de régimen estacionario o de Batch, de régimen semi-continuo, horizontales de desplazamiento y de régimen continuo (Sánchez, 2005).

Los de régimen estacionario son muy utilizados para obtener fertilizante orgánico y consisten de tanques herméticos con una salida de gas. Se cargan una sola vez y se descargan cuando han dejado de generar gas (Umaña, 1985). Los de régimen semi-continuo se construyen enterrados, se cargan por gravedad una vez al día y en la parte superior flota una campana donde se almacena el gas (Viñas, 1994). Los horizontales de desplazamiento también se construyen enterrados semejantes a un canal, se operan a régimen semi-continuo, entrando la carga por un extremo del biodigestor y saliendo el efluente por el extremo opuesto. Los de régimen continuo se utilizan principalmente para tratamiento de aguas negras; son plantas muy grandes que emplean equipos para proporcionar calefacción y agitación. Éstos generalmente son de tipo industrial (Mandujano, 1981).

En biodigestores existen muchos diseños, pero dentro de los más conocidos, funcionales y económicos se encuentran:

6.4.1. Biodigestor Tipo Media Bolsa

Este sistema puede ser construido en el nivel del suelo o semi-enterrado, dependiendo de las características físicas del suelo. Estos tipos de biodigestores son semi-contínuos, cargados diariamente y eliminan un volumen igual al del efluente con un constante desplazamiento de materia (Anexo 5).

Para que se realice esta desocupación de forma adecuada, es necesario que el piso tenga una inclinación de 4% y la pileta de carga sea construída en un nivel más alto del biodigestor. Se recomienda que el tanque posea forma geométrica. Este sistema es utilizado cuando los volúmenes de carga son mayores a 30 m³/día (Soria, 2005).

Ventajas del biodigestor Media Bolsa:

- Uso de materiales disponible en todas las zonas
- Construcción sencilla
- La formación de natas se controla fácilmente
- La limpieza es sencilla

6.4.2. Biodigestores Tipo Bolsa Plástica- PVC-Olefinas

Este sistema se recomienda cuando se manejan volúmenes de descarga menores a 15 m³/día, es un sistema de fácil manejo, fácil de instalar, fácil de agitar y fácil de transportar (Soria, 2005).

La producción de metano se inicia entre el décimo y vigésimo día del comienzo del proceso de alimentación, funcionando el biogás como combustible entre la segunda y la quinta semana (Anexo 3).

Ventajas del Biodigestor Bolsa Plástica- PVC-Olefinas:

- Almacenaje de energía a bajo costo
- Fuente de energía renovable
- Mínima inversión
- Se utilizan productos de desecho

- Impacto positivo en el ambiente
- Permite la sustitución parcial de abonos comerciales
- Cumple un rol sanitario excelente

6.5. Ventajas de la digestión anaeróbica

En condiciones aeróbicas, los microorganismos utilizan la materia orgánica como fuente de alimento y el oxígeno del aire para oxidar esta materia orgánica y de esta manera obtener gran cantidad de energía. El crecimiento microbiano es rápido y una gran parte de la materia orgánica que se desea degradar se convierte en nuevas células; mientras que la porción de material degradado no es realmente estabilizado, únicamente ha ocurrido una transformación. Bajo condiciones anaeróbicas, la conversión genera relativamente poca energía a los microorganismos, por lo que su tasa de crecimiento es relativamente baja y la mayor parte de materia se convierte en metano y dióxido de carbono (Yank, 2005).

Algunos puntos claves para considerar el tratamiento anaeróbico en las unidades productivas son:

- Preve un alto grado de estabilización de la materia orgánica: 80 a 90% de estabilización del sustrato, dependiendo del tiempo de retención.
- Por no haber formación de grandes cantidades de células, la producción de lodos biológicos es baja.
- Los requerimientos de nutrientes inorgánicos tales como fósforo y nitrógeno son bajos.
- Por no haber aireación, se eliminan los gastos energéticos asociados con este requerimiento de los procesos aeróbicos.
- Se genera gas metano que es aprovechable como fuente de energía. Una libra de DBO o DQO estabilizada produce 5.62 pies cúbicos (0.1591407 metros cúbicos) de metano (Coto, 1985).

6.6. Transferencia tecnológica e indicadores de cambio social

La idea de describir y cuantificar el impacto de la transferencia tecnológica en la sociedad parte de un supuesto muy generalizado. Este supuesto afirma que la generación de conocimiento y su aplicación repercuten directamente en la mejora de la calidad de vida y del desarrollo de un país, región o localidad. Es posible definir indicadores de impacto tecnológico como el conjunto

de valores que ofrecen información a la pregunta: ¿qué pasaría si el conocimiento generado y los programas que utilizan el mismo no se implementaran? (Solano, 2003).

Estos indicadores se utilizarían para definir y cuantificar la evidencia real y consistente de cambios hacia el mejoramiento de las condiciones de vida de la población, como resultado de la producción y aplicación del conocimiento científico. La definición y cálculo de indicadores de impacto de tecnologías son aportes de importancia para profesionales (políticos y científicos) vinculados con el diseño de políticas, ya que de esta manera se tiene información que se constituye en herramienta para generar nuevas perspectivas o corregir planes y programas (Ramsay, 1997).

Los expertos enfocan sus esfuerzos a diseñar un tipo especial de indicadores de transferencia tecnológica que permita a las autoridades vinculadas y tomadores de decisiones impulsar tecnologías que permitan servir como instrumento real de desarrollo de los pueblos. Es interesante no perder de vista que los cálculos y cuentas seguramente podrán ser más engorrosos para indicadores de índole social, dado que se hace necesario incorporar la presencia de muchos factores. Por ello, es recomendable tomar en cuenta dentro los parámetros y mediciones:

- Medidas que cubran y combinen diferentes esferas económicas, sociales, culturales y políticas en contraste con los sistemas de indicadores sesgados hacia una sola disciplina.
- Sistema de medidas que contemplen a la vez factores considerados como de outputs e inputs en la dinámica social y no sólo referido a uno de ambos tipos de indicadores.
- Sistemas de medidas que incorpore conceptos relevantes sobre los mecanismos de cambio del sistema social de transferencia tecnológica.

Cuando se trata de definir indicadores sociales de transferencia tecnológica en una comunidad, asociación o empresa, existe un componente esencial que debería ser tomado en consideración. Es la capacitación de las personas involucradas en los procesos y en adelante se muestra el desarrollo de este indicador:

$$\frac{\textit{CantidadPC}}{\textit{Cantidad total personal}} = \frac{\textit{cantidad personas capacitadas}}{\textit{cantidad total de personal}}$$

Al desarrollar un trabajo en el campo agropecuario, interactuar con productores e introducir una nueva tecnología en una zona, se encuentra necesariamente con lo que se conoce como un proceso de extensión, según Solano (2003).

“Un proceso educativo con una fuerte connotación de un trabajo más integral con familias rurales, cuyo fin primordial es la retro-alimentación permanente con esa población.”

Es por esto que la extensión en estos días debe buscar una orientación a la reconversión de los sistemas productivos para aumentar su productividad, utilizando tecnologías con mínimos impactos negativos ambientales, enfocados a una capacitación gerencial de los productores y hacia la concesión de los mecanismos requeridos por ellos para su organización.

En extensión, para que una adopción de tecnología funcione es importante que el agente de extensión conozca perfectamente la situación de las zonas donde trabaja y las condiciones de vida de quienes necesitan desarrollar estas tecnologías dentro de sus unidades productivas. También se precisa que el extensionista se haya ganado la confianza de los productores, lo cual facilita el proceso de aprendizaje.

Se debe empezar por realizar visitas a las fincas y hogares para conocer las necesidades o problemas de primera mano con lo cual se establece, si las condiciones se prestan para desarrollar trabajos posteriores, de tal manera que se haga el mejor uso del dinero, tiempo y recursos humanos. Como último punto medular en la adopción de tecnologías, se tiene la demostración de resultados que constituye un procedimiento ordenado para mostrar y enfatizar los méritos de los efectos que se obtienen al aplicar una o un conjunto de prácticas recomendadas.

El proceso de extensión comienza con la generación de conocimientos y termina con su adopción por parte de los productores, pasando por etapas intermedias de su adaptación o situaciones locales, comprobación de sus ventajas para las familias rurales y su difusión a través de diversos métodos para lograr su uso generalizado.

La extensión tradicional ha puesto énfasis en el aumento de la producción y ha dejado de lado los procesos de conservación y uso racional de los recursos naturales. La mayor parte de instituciones involucradas en el proceso en Costa Rica, no están equipadas para desarrollar una

visión integral de cuenca que debería ser el norte de los gobiernos e instituciones locales donde se desarrollan las actividades, siendo éste el punto medular para encaminar todos los procesos de una manera adecuada (Jiménez, 1997).

Una nueva visión enmarca un nuevo extensionista que permita lograr un manejo integrado de cuencas hidrográficas dentro de su trabajo, de tal forma que pueda llegar al productor con técnicas de comunicación adecuadas, además que le permita visualizar e integrar los aspectos sociales y económicos con la conservación y/o regeneración de los recursos naturales, dentro del territorio donde se circunscribe su área de trabajo (Torres, 1997).

6.7. Factores que determinan una adecuada adopción de tecnologías en el manejo de los recursos naturales.

El extensionista en primera instancia debe partir de un diagnóstico participativo con los productores donde la comunidad tiene un papel esencial y existe un aprendizaje mutuo, las soluciones son propuestas por todos y deben ser discutidos los problemas que atañen a la sociedad, los procesos productivos y los servicios de apoyo. Posteriormente viene la transferencia de tecnología y en ésta es esencial que exista una relación estrecha entre la investigación, la extensión y el productor, donde lo ideal es que buena parte del proceso se realice en la finca, con la participación activa del productor, donde se optimiza el espacio, los recursos disponibles y el tiempo (Geilfus, 1998).

El extensionista es base fundamental del proceso, es preferible que viva cerca de la clientela en sus condiciones rurales, que sus clientes reciban transferencia tecnológica pero también deben tener contactos directos con el resto de la comunidad.

Este contacto debe ser fortalecido por medio del consenso y participación de los poderes locales, de esta manera la implementación de proyectos y programas es apoyada por el extensionista, los técnicos y las instituciones, pero la responsabilidad es de los productores con el apoyo de la comunidad (Ramsay, 1997).

Las normas y procedimientos son definidas de antemano por los técnicos y los productores, donde estos últimos son los protagonistas y quienes aseguran la continuidad de las acciones. Posteriormente se debe evitar una costosa infraestructura de investigación, se debe utilizar una estructura más flexible, ya que el productor debe implementarla en muchos casos con sus

propios recursos. A la vez, él mismo debe participar en el proceso de validación de la tecnología y la extensión de resultados (Warpeha, 1985).

Es propicio que el monitoreo y la evaluación sean apoyados por el extensionista, los especialistas de los proyectos y/o las instituciones participantes; los resultados permitirán enfocar la toma de decisiones por parte de los productores para implementar medidas correctivas o continuar enfocados al trabajo que se ha venido realizando. El monitoreo es un proceso continuo que le confiere permanencia en el tiempo a las iniciativas, donde siempre debe existir el ciclo de diagnóstico- planificación- evaluación- diagnóstico.

6.8. Sistema de producción de cerdos

El sistema de producción porcina más utilizado en Costa Rica es el denominado sistema intensivo. En él, los cerdos permanecen todas las etapas de su ciclo vital en confinamiento. Este sistema en el nivel mundial se utiliza en países donde el costo de la tierra es muy alto, la alimentación es cara y el clima es fuerte; es decir muy caliente o muy frío (Ramírez, 2005).

El sistema intensivo exige instalaciones apropiadas y una alimentación y manejo tecnificado. Sin embargo, posee muchas ventajas:

- Permite la producción de un número grande de cerdos en un terreno pequeño.
- Con él se logra mayor productividad y eficiencia.
- En el campo ambiental facilita un mejor control sanitario de los animales y sus residuos.

El sistema de confinamiento también tiene tres desventajas:

- Tiene altos costos de operación e inversión.
- Exige un control sanitario riguroso.
- Puede ocasionar problemas en las patas de los animales.

El cerdo es seleccionado para crecer rápidamente y por esta razón, debe consumir mucho alimento. Conforme crece, se elevan sus necesidades diarias de consumo de comida, pero también debe proporcionarle al animal no sólo la cantidad sino que la calidad que requiere, para un buen desarrollo.

Es preciso que los productores estén conscientes de que un cerdo de 35 kg de peso gana alrededor de 700 g diarios, mientras que uno de 70 kg tiene una ganancia diaria de 800 g.

Después de los 70 kg de peso, la capacidad de adquirir peso disminuye con rapidez y con 90 kg de peso, la ganancia diaria se reduce a 710 g. Esto ocurre porque en el organismo del animal joven contiene un 70% de agua, en contraposición, la canal de un cerdo adulto tiene apenas 40%. Esto quiere decir que por cada kilogramo que aumenta el cerdo joven, incorpora 700 g de agua, mientras que el adulto sólo 400 g (Araya, 1984).

A la vez, los diversos tejidos del organismo animal se forman siguiendo un orden de prioridades. En primer lugar se forman los huesos, después los músculos y finalmente la grasa, que por ser tejido tardío es más caro y difícil de producir. El peso óptimo para el sacrificio debe determinarse en cada caso según el mercado, la clase de alimento y el tipo de cerdo, los mejores resultados se obtienen a los 85 kg de peso. Después de los 100 kg, el cerdo se convierte en un animal convertidor de alimentos, donde las ganancias diarias disminuyen y se produce una mayor acumulación de grasa. Es importante por esta razón que los productores de cerdos tengan en cuenta que mientras más desarrollado esté el cerdo, la porción de alimento relativa con sus necesidades de manutención es mayor (Araya, 1984).

6.8.1. Instalaciones y equipo

El sistema de confinamiento permite proveer a los animales de un ambiente adecuado donde el control ambiental (temperatura, humedad, luminosidad y aireación), se justifica ya que en los trópicos los cerdos adultos frecuentemente sufren de calor y los lechones son propensos a morir de frío por no tener un mecanismo eficiente de termorregulación.

Por tanto, existen factores que deben tenerse en cuenta al planear las instalaciones:

- Ellas deben estar distantes de los centros de población, para evitar problemas de moscas y malos olores.
- La construcción debe hacerse en terreno alto, bien drenado, protegido de vientos fuertes y con facilidad de acceso durante todo el año.
- La instalación debe ser durable, sencilla, funcional y construida con materiales que se encuentren dentro de las unidades productivas o en la zona, con el fin de reducir costos. Además, es conveniente y necesario contar con un buen suministro de agua en cantidad y calidad.
- Los costos de inversión por construcción y equipo no deben ser superiores al 15% de los costos totales de producción del cerdo. Asimismo, la inversión debe amortizarse en un máximo de 10 años (Araya, 1984).

- Se debe planear cuidadosamente la eliminación de los desechos, para evitar contaminaciones, malos olores y producción de moscas.

Un aspecto esencial para determinar si una porqueriza cumple con los cánones requeridos, es que se encuentre orientada de tal manera que los animales estén protegidos contra el sol y el viento. En Costa Rica, en general se recomienda una orientación de este-oeste. De esta manera se aprovecha mejor la sombra. Sin embargo, hay lugares muy fríos donde la orientación debe ser norte-sur, ya que de esta forma se permite la entrada de rayos solares, necesarios especialmente en corrales de cría y cerdos en crecimiento.

Las dimensiones de los corrales deben depender del peso de los animales que se tengan en producción, por tanto se recomiendan éstas:

Cuadro 4. Requerimientos de espacio según el tipo de animal (Araya, 1984)

Tipo de Aposento	Espacio Requerido
Parideras	0,60 m de ancho * 2,10 m longitud * 0,90 de altitud (por animal). Con espacios laterales entre parideras de 0,45m.
Corrales para ciclo completo	8-10 m ² por camada
Corrales para desarrollo y engorde	0,7m ² en cerdos en desarrollo y 1,1-1,4 m ² en cerdos en finalización.
Corrales para verracos	5-6 m ² con paredes de 1,2 m de alto.

6.8.2. Registros de producción

Muchos productores no le dan la importancia que se merecen los registros de sus granjas y esto puede llevarlos al fracaso de sus unidades productivas. Los registros son imprescindibles para programar actividades, lograr mejoras importantes, detectar fallas administrativas o de cualquier otra naturaleza que estén afectando la producción.

Con los registros se tiene información indispensable para valorar la forma en que se ha trabajado y realizar ajustes importantes cuando sean prioritarios; es recomendable realizar evaluaciones periódicas utilizando cuadros resúmenes de los índices de producción y con ello se orientan las evaluaciones económicas, ya que la actividad porcina es un negocio. Los registros deben confeccionarse dependiendo de la complejidad, volumen de la granja y del grado de información mínima necesaria con que se debe contar. Un registro debe ser simple, fácil de llenar, tabular e interpretar.

Existen muchos tipos de inventarios pero dentro de los más importantes se encuentran:

- Registro de inventario (registro general de bodega, materia prima y control de dietas)
- Registro de producción (registros de apareamiento, registro de verracos y cerdas de cría)
- Registros auxiliares (animales por corral, registro de pérdidas y corrales de engorde)
- Cuadro para evaluaciones económicas (Araya, 1984).

6.8. 3. Comercialización del cerdo

En su mayoría los productores de pequeña y mediana escala no disponen de instalaciones necesarias para el buen manejo de los cerdos al realizar las transacciones comerciales, así como tampoco disponen de servicios básicos de comercialización, lo que en la gran mayoría de casos ha propiciado la intervención del intermediario. La mayor parte de la producción en Costa Rica de carne de cerdo se vende en forma directa o fresca, proveniente de mataderos oficiales. Sin embargo, parte de la carne es vendida en canal dentro de las mismas unidades productivas o las distribuyen a las carnicerías.

La distribución de carne por el intermediario ocupa el primer puesto en la distribución interna del país y existen operando grandes intermediarios que debido a su poder de negociación y la inestabilidad económica del productor dominan el mercado, fijan el precio a su antojo, sin permitir la interacción de la oferta y la demanda. Estos grandes intermediarios compran los cerdos en la plaza, los destazan en los mataderos autorizados y distribuyen las canales a las carnicerías o a plantas industriales. La tendencia actual para la canal es sacrificar cerdos con peso no superior a 100 kg para obtener rendimientos del 75%-76% (Araya, 1984).

6.9. Legislación y cambios sociales trascendentales

En Costa Rica existen muchas leyes conexas que regulan la calidad y la distribución del recurso agua en el territorio. Sin embargo, uno de los hitos más importantes que marcaron la madures ambiental del país es la aprobación del decreto N° 26042-S-MINAE Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales.

Este reglamento reconoce que la contaminación de aguas es uno de los problemas de mayor incidencia en el entorno ambiental y por este motivo es básico adoptar medidas de control para el vertido de agentes contaminantes en general, en las aguas nacionales.

Las aguas residuales en este reglamento son clasificadas según su destino, ya que existen aguas residuales con sustancias o componentes que pueden ser aprovechados para el desarrollo de otras actividades, lo que se encuentra acorde con la filosofía del desarrollo sostenible. Para el caso de residuos orgánicos provenientes de porquerizas adecuadamente tratados y que pueden utilizarse en riego de pastos para ganado, forrajes, cultivos de fibra y semilla entre otros, el reglamento lo califica como reuso de aguas tipo 5.

Para que el Ministerio de Salud pueda extender permisos de funcionamiento a las personas a cargo de la actividad contaminante deben presentar un reporte operacional ante el Departamento de Control Ambiental del mismo Ministerio, el período de presentación de reportes varía según el caudal según lo muestra el Cuadro 5.

Cuadro 5. Frecuencia mínima de muestreo y análisis para aguas residuales de tipo ordinario (La Gaceta, 1997)

Parámetro	Caudal (m ³ /día)		
	< 50	50 a 100	> 100
pH, Sólidos Sedimentables y Caudal	Mensual	Semanal	Diario
Grasas y aceites DBO _{5,20} Sólidos Suspendidos Totales Coliformes fecales	Anual	Semestral	Trimestral

El cuadro seis concentra los parámetros que deben ser considerados y sus límites, cuando se está inmerso en una actividad agropecuaria.

Cuadro 6. Concentraciones máximas permisibles de contaminantes para la producción agropecuaria (La Gaceta, 1997)

CIU	Actividad	Concentración Máxima Permicible (mg/l)			
		DBO _{5,20}	DQO	SST	GyA
1110	Producción agropecuaria	500	800	200	----

Los análisis microbiológicos deben ser practicados en una muestra, compuesta de al menos seis muestras simples distribuidas en el período diario de reuso. Los resultados se reportan en unidades consistentes con el método de análisis empleado.

Cuando se trata de pastoreo de ganado lechero, se debe dar un período de retiro al terreno de quince días después del riego; si no se respeta este período la concentración de *Coliformes fecales* no deberá exceder los 1000/100 ml (La Gaceta, 1997).

No fue sino hasta abril del año 2005 en que se publica en La Gaceta el decreto N° 32312-S que corresponde directamente al funcionamiento de las granjas porcinas. Aquí es catalogada la actividad porcina como incómoda, por la generación de olores difíciles de confinar dentro de la propiedad y por la generación de aguas residuales con alta carga orgánica.

Queda legalmente reconocido que la contaminación de los cuerpos de agua favorece la proliferación de enfermedades de transmisión hídrica, reduce el número de fuentes disponibles, eleva los costos para el abastecimiento de agua para consumo humano y pone en peligro de extinción a muchas especies de nuestra flora y fauna (La Gaceta, 2005).

El objetivo fundamental del Reglamento es:

Regular y permitir la vigilancia y el control de todo lugar, edificio, local e instalaciones en donde se mantienen o permanecen cerdos en todas sus etapas de producción, así como, los sistemas de tratamiento y disposición final de desechos sólidos y líquidos, además de definir los trámites pertinentes para la obtención del permiso sanitario de funcionamiento (La Gaceta, 2005).

Para que la actividad sea lícita, este reglamento estipula que la granja porcina debe poseer un sistema de tratamiento de aguas residuales y es aquí que el sistema de biodigestor representa una de las alternativas económicamente más viable para cumplir con este mandato:

- Los desechos deben manejarse de acuerdo con lo establecido en el plan para el manejo de los desechos (líquidos, sólidos y la cerdaza), así como cumplir lo indicado en el manual de operaciones del sistema de tratamiento, aprobado por el Ministerio de Salud. Éstos deberán ser separados, recolectados, acumulados, utilizados cuando proceda, sujetos a tratamiento y disposición final, de manera que se evite o disminuya en lo posible la contaminación del aire, suelo o de las aguas.
- El ó los sistemas de tratamiento deben estar protegidos con el fin de evitar accidentes.

La presencia de un regente ambiental para la producción es también una incursión nueva y una medida de protección ambiental muy utilizada en otras actividades, la persona a cargo deberá estar registrada ante el Ministerio de Salud y será responsable por el manejo sanitario de los animales y del establecimiento.

Se trata con el reglamento de proteger a las personas y al medio de los efectos adversos que tiene en el entorno la producción porcina, por esto se dicta que los galpones que albergan los cerdos deben estar al menos a 35 m lineales de líneas de colindancia con propiedades vecinas y vías públicas; además de no poder instalarse a menos de 500 m de establecimientos del Ministerio de Salud, educativos y los dedicados para el adulto mayor.

Un elemento que se tomó en cuenta en el decreto N° 32312-S es lo concerniente a los implementos de trabajo y las condiciones sanitarias, muchas veces descuidadas por trabajadores y poricultores en general.

Será obligación de todo propietario de granjas porcinas, proveer a sus trabajadores de los implementos de trabajo y poner en práctica, medidas de seguridad e higiene para proteger la salud de los mismos. Éstas deberán contar con:

- Instalaciones sanitarias, para uso del personal: servicio sanitario, lavamanos, agua, baño con sus aditamentos y accesorios completos en buen estado de uso; previstos de jabón, desinfectantes y toallas. Cuando la granja cuente con casa de peones, los servicios sanitarios para el personal pueden ser los mismos.
- Área acondicionada para que el personal pueda ingerir sus alimentos, separada de los galpones donde se ubican los cerdos; protegida contra el ingreso de insectos y vectores.

- Proporcionar implementos de protección personal, tales como: botas de hule, guantes y delantal.

La aprobación del decreto de porquerizas denota la importancia productiva y ambiental de esta actividad y con su aplicación se preve que se den cambios drásticos a corto plazo donde se vea favorecida la salud humana, el ambiente y la producción porcina, sin que se vean perjudicados los derechos del productor.

7. Introducción

El uso de la tecnología del biodigestor no es una práctica nueva ya que los primeros datan del año 1934 en Alemania. Desde el primer diseño denominado canal de fermentación se ha perfeccionado su funcionamiento con modificaciones posteriores, adaptándolos a las necesidades y condiciones de cada país o región; por lo cual hoy se cuenta con digestores de un alto nivel de eficiencia en sus funciones (Penagos, 1985).

El sistema de digestores anaeróbicos ha representado la solución para muchos problemas ambientales. Países como China y la India han enfocado sus esfuerzos a simplificar los diseños, aumentar su funcionalidad y disminuir los costos de construcción. En China funcionan más de siete millones de biodigestores. En Taiwán, la contaminación producida por el aumento de granjas porcinas se ha controlado significativamente con el uso de esta tecnología (Hong, 1985).

Costa Rica no se aleja de la realidad mundial. Su industria agropecuaria es causante de gran parte de la contaminación de las fuentes de agua, sobre todo superficiales. En su mayoría este tipo de industria se localiza contiguo a ríos o quebradas para el aprovechamiento de sus aguas en las actividades productivas y para desechar con mayor facilidad los residuos. Por tanto son recursos seriamente afectados por la contaminación (Ramírez, 1998).

La cuenca del Río Tempisque en la provincia de Guanacaste es una de las más importantes para los costarricenses, ya que su extensión de 5460 km² la convierte en el sistema hidrológico más grande del país. Esta cuenca se localiza en el norte de Costa Rica; a lo largo de su recorrido se encuentran siete Zonas de Vida, cada una de ellas con una alta biodiversidad (Aguilar, 1998). Los humedales dentro de la cuenca abarcan 1460 km² y son un ejemplo de la complejidad y vulnerabilidad de los ecosistemas que son afectados por actividades agroindustriales y domésticas dentro de este territorio; a pesar de su gran valor ecológico, económico y social (Aguilar, 1998).

Monitoreos realizados entre los años 1997 y 2001 por Acueductos y Alcantarillados (AyA) en diversos puntos de la cuenca del Río Tempisque, indican que la mayor parte de muestras recolectadas posee valores que sobrepasan los 6000 *Coliformes fecales*/ml, lo cual indica que se exceden los niveles de potabilidad recomendados (Mora, 2001).

Es evidente que las aguas superficiales son más vulnerables a la contaminación bacteriológica que las subterráneas. Sin embargo, los acueductos municipales y pozos artesanales son afectados por patógenos asociados con excrementos, que no dejan de representar un peligro para el brote de “cólera” (Foster, 2003).

Las actividades pecuarias en la zona, como la producción porcina y ganado vacuno de leche, carne y doble propósito contribuyen a agravar el problema. Los altos índices de contaminación fecal cuartan la posibilidad de desarrollar actividades para el mejor aprovechamiento de los recursos disponibles. En sectores de la cuenca no es recomendada la natación, navegación, piscicultura y el cultivo de camarón o almejas (Mora, 2001). Una de las posibles soluciones para reducir el problema de contaminación producido en unidades productivas de tipo pecuario, es la utilización del biodigestor, sobre todo para el manejo de los excrementos (Castillo, 1985).

El personal técnico de Asociación para el Manejo de la Cuenca del Río Tempisque (ASOTEM) y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), con el aporte económico de FUNDECOOPERACION, instalaron y pusieron en funcionamiento 40 biodigestores, en el área delimitada por esta cuenca.

El desarrollo de esta tesis permitió documentar los cambios más relevantes dentro de las unidades productivas en los tres ejes del desarrollo sostenible: económico, ambiental y social.

8. Objetivos

8.1. Objetivo general

Analizar los cambios ambientales, sociales y económicos generados por biodigestores en granjas porcinas en la cuenca del Río Tempisque, Costa Rica.

8.2. Objetivos específicos

8.2.1. Medir el aporte en la disminución del daño ambiental que tiene el uso del biodigestor, gracias al descenso de residuos contaminantes en las fuentes de agua.

8.2.2. Definir las mejores opciones técnicas para el buen funcionamiento del biodigestor en el área de estudio.

8.2.3. Identificar indicadores de cambio en las relaciones sociales, tanto dentro de la unidad productiva como en su entorno.

8.2.4. Analizar la disponibilidad de adopción del sistema de biodigestor por parte de productores de cerdos.

8.2.5. Definir la rentabilidad económica de la implementación de la tecnología de biodigestor en la zona.

8.2.6. Determinar los factores que regulan la producción porcina para cada productor.

9. Metodología

9.1. Clasificación de la investigación

Según el carácter de la medida: Es cuantitativa ya que va enfocada a demostrar en qué medida contribuye la tecnología de biodigestión tanto económica como ambientalmente y cuál es su impacto dentro de la sociedad; esto se logró recolectando datos mediante un cuestionario (Anexo 1) y adicionando información de campo y laboratorio; se utilizó la estadística para realizar comparaciones y describir gráficamente los alcances.

Sin embargo ya que el investigador estuvo inmerso en una sociedad en constante interacción con personas, fue de gran ayuda la información cualitativa que se pudo recolectar mediante diálogo abierto y material visual, lo que permitió fortalecer la discusión de resultados. Cuando se realiza una investigación en una sociedad, no se puede obviar el enfoque cualitativo ya que éste permite complementar los resultados (Hernández, 2000).

Para realizar esta investigación se utilizaron métodos y técnicas que contribuyeron a la creación de conocimiento práctico sin que se enmarcara desmedidamente en el enfoque principal, ya que como lo menciona Seas, citado por Hernández, (2000):

Un paradigma, su definición epistemológica y la metodología de investigación que derive, no debe limitar el uso exclusivo de información de otro tipo.

Esto implica que no debe negarse la validez de un paradigma si puede utilizarse los aportes teóricos y axiomáticos de cada uno, según las necesidades que motivó el problema de investigación.

9.2. Área de estudio

El estudio se desarrolló en la cuenca del Río Tempisque, la cual abarca nueve de los once cantones de la provincia de Guanacaste. La extensión de la cuenca equivale a 54% del área de la provincia de Guanacaste y un 10% del territorio nacional, dividiéndose en dos subcuencas; la subcuenca del Río Tempisque y la subcuenca del Río Bebedero (Mapas 1 y 2).

Existe un cantón que originalmente no se encontraba inmerso dentro del territorio de esta cuenca: Tilarán. Sus drenajes no desembocaban en la cuenca estudiada. Con la construcción y puesta en funcionamiento del Complejo Hidroeléctrico Arenal-Corobici-Sandillal, la situación cambió y por una condición antrópica, la cuenca actualmente recibe $100 \text{ m}^3/\text{s}$ provenientes del embalse Arenal, localizado en este cantón (Balletero, 1999).

Entre los principales usos del agua en este territorio están la industria agropecuaria, la acuicultura, la recreación, la generación eléctrica y el abastecimiento público (Balletero, 1999).

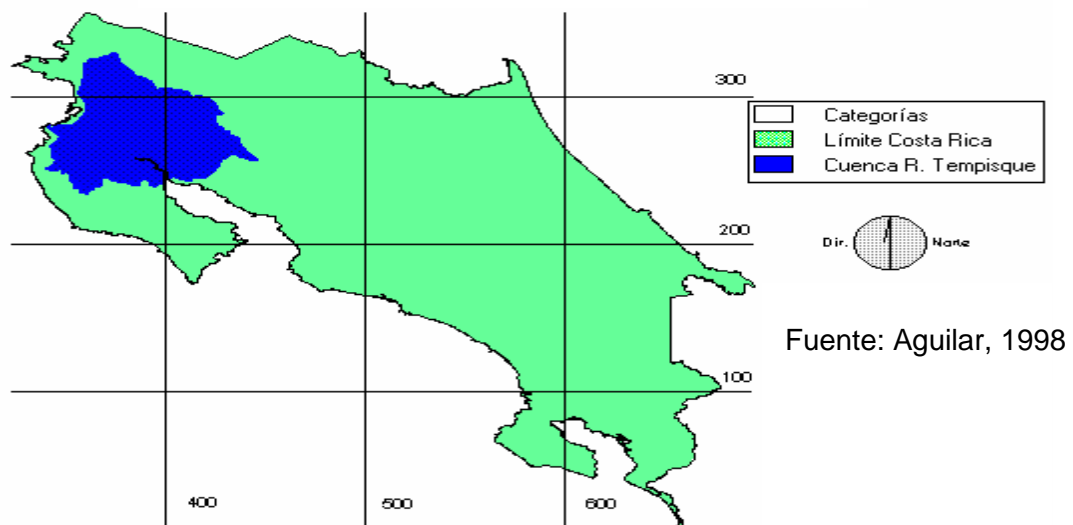


Figura 1. Ubicación del área de estudio Cuenca del Río Tempisque

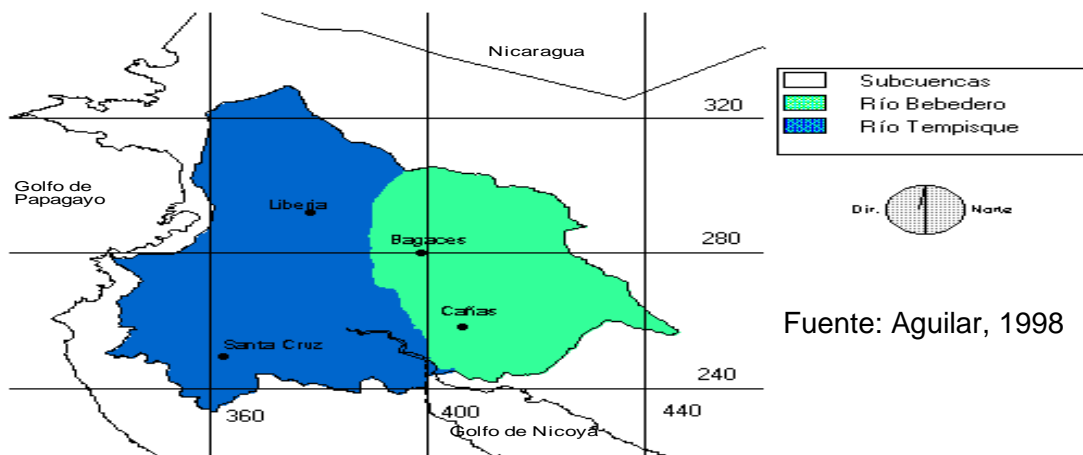


Figura 2. Ubicación de las sub-cuencas del Río Tempisque

9.3. Análisis estadísticos

9.3.1. Unidad de análisis

Las unidades de estudio estuvieron constituidas por productores porcinos presentes en el área comprendida dentro de la cuenca del Río Tempisque y todas las observaciones e información recabada dentro de éstas, permitieron realizar una introspección profunda de dicha actividad productiva y el uso de una tecnología que era poco utilizada en el área.

Para el caso en estudio, los porcicultores se clasificaron en tres categorías, según su volumen de producción: los pequeños, que poseen 10 cerdos o menos, los medianos que tienen más de 10 animales hasta 100 y los grandes, con más de 100 animales.

Se consideró incorporar los pequeños y medianos productores, ya que el volumen de excrementos de sus animales, se puede manejar en biodigestores pequeños con presupuestos adecuados para la envergadura de su actividad. Mediante información del Ministerio de Agricultura y Ganadería (Dirección Regional), además de visitas previas a las unidades productivas se determinó que existen 40 porquerizas que cumplen con la condición de menos de 100 animales y que éstos son constantes durante todo el año (Mena, 2004. Com. Pers.).

Se compararon las variables o atributos tradicionales de las unidades productivas y los cambios que se generaron con la implementación de un biodigestor. Se definieron seis variables que constituyeron en los puntos medulares de la investigación: 1. Disminución en el daño ambiental; 2. Mejores opciones técnicas; 3. Cambio en las relaciones sociales; 4. Adopción del sistema de biodigestor; 5. Rentabilidad económica y 6. Factores que regulan la producción porcina.

Con base en la información obtenida tanto antes como después de desarrollada la instalación de los sistemas de biodigestores, se procedió a realizar un análisis estadístico descriptivo de los datos obtenidos. El instrumento principal para la recolección de la información fue un cuestionario, el cual una vez que se aplicó a los productores en los dos momentos, fue traducido a códigos, para el mejor manejo y tabulación de los datos.

Los códigos se establecieron de acuerdo con las especificaciones que tiene un estudio de esta naturaleza y considerando los requisitos del proceso de tabulación.

Los datos ya tabulados se analizaron por medio de paquetes estadísticos para computadora (StatMost y Excel). Se confeccionaron cuadros, figuras, cálculo de promedios, porcentajes y medidas de variabilidad, que permitieron entender lo que ocurrió en el proceso de instalación, capacitación, puesta en funcionamiento y manejo de la tecnología del biodigestor.

9.3.2. Población y Tipo de Muestra

La población del estudio tiene características específicas, además de ser productores porcinos con menos de 100 animales reportados por el MAG. Éstos tienen condiciones mínimas de infraestructura y drenajes para la instalación del biodigestor.

La población que reunió estas características, según el censo y que fueron intervenidas, son de 40 unidades productivas. El número de muestras intervenidas y estudiadas fueron iguales al número de unidades de la población ya que es un tamaño tal, que los recursos disponibles tanto económicos como humanos fueron suficientes para realizar un censo con el instrumento principal y de esta manera eliminar el error de muestreo.

9.4. Instrumentos de medición

Cada productor presenta una situación individual y particular dentro del proceso productivo y una posición inicial con respecto al medio donde desarrolla su actividad. Esta información inicial fue documentada, para compararla con la condición después de la construcción y puesta en funcionamiento del biodigestor en cada unidad productiva representativa de la población; por lo que los instrumentos para compilar los datos fueron pertinentes en las dos condiciones.

La herramienta más importante para la recolección de información, ha fue el cuestionario aplicado a cada productor por el investigador; partiendo del hecho que no toda la población censada está alfabetizada. Por lo tanto, el lenguaje y complejidad del mismo fue apropiado para la población meta (Anexo 1).

Esta herramienta permitió recavar información de tipo social, económico y ambiental de tal manera que puedo determinarse, si el sistema de biodigestión confirió un efecto positivo y adecuado dentro de los recursos naturales, principalmente en aguas y los seres humanos en el entorno.

Como complemento al cuestionario se creó una tabla para la recolección de datos de campo y se realizaron pruebas de laboratorio para agua, con el fin de determinar la calidad de las mismas cuando ingresaron al biodigestor producto del lavado y del efluente del sistema.

9.4.1. El Cuestionario

Este instrumento se enfocó en un primer momento a recabar información de ubicación de la unidad productiva dentro de una comunidad y una familia que tiene características propias y exclusivas, pero que a la vez, sus apreciaciones pueden ser comparadas y expresadas en términos estadísticos descriptivos básicos, que fueron expuestos en resultados, a manera de cuadros y figuras.

El segundo apartado del cuestionario logró una introspección de la citación administrativa, tratando de centrar la atención en las obligaciones legales que debe cumplir la unidad productiva para su funcionamiento y por otro lado, determinar las condiciones para el trabajo del recurso humano.

Los rubros tres y cuatro recolectan información acerca de la visión futurista de la granja y su situación productiva con respecto al sistema convencional que se maneja en la zona.

Los puntos cinco y seis se enfocan a determinar si en la unidad productiva existe preocupación por utilizar tecnologías que minimicen daños ambientales y el conocimiento previo e interés por el sistema de biodigestor. A la vez, con la información extraída en estos puntos, se precisó de una manera sencilla, si la unidad productiva contaba con la infraestructura propicia para implementar un sistema de biodigestión.

Es fundamental conocer la higiene y seguridad de las porquerizas y trabajadores, ya que esto determina las condiciones fitosanitarias de trabajo dentro de la instalación productiva. Es por esto que se incorporaron al cuestionario los puntos siete y ocho.

En los puntos noveno y décimo del cuestionario se determinan qué porcentaje de la población posee una comercialización adecuada de sus productos y si esta producción y comercialización es rentable y demostrable en términos financieros.

El aspecto ambiental es un tema medular dentro de la gestión ambiental, por lo que en el apartado 11 se recolectó información acerca del manejo adecuado de aguas y la utilización y disposición de desechos provenientes de las granjas porcinas.

Como último rubro se obtuvo un acercamiento con la situación familiar, específicamente en lo concerniente a la toma de decisiones y distribución del ingreso, con el fin de determinar la equidad de acuerdo con el enfoque de género dentro del sistema productivo.

El cuestionario se fortaleció con observación y diálogo abierto con el productor con el fin de mejorar la discusión de resultados. Existen indicadores como olores, cantidad de moscas y residuos fecales alrededor de las porquerizas que son evidencia de un manejo inadecuado de desechos provenientes de esta actividad, que fue necesario contrastar después de la puesta en funcionamiento del biodigestor. En este caso, el material fotográfico y las opiniones abiertas de los productores fueron incorporados en la investigación como parte del análisis de datos.

Cuadro 7. Determinación de variables e instrumentos de medición

Objetivo Específico	Variables	Definición Operacional	Indicadores	Instrumento Cuestionario
a. Medir el aporte en la disminución del daño ambiental que tendrá el uso del biodigestor gracias al descenso de residuos contaminantes en las fuentes de agua.	Disminución en el daño ambiental.	Manejo adecuado de excretas y agua.	Determinación del volumen de excretas manejadas adecuadamente para cada productor. Medición del volumen de agua antes y después de puesta en funcionamiento el sistema de biodigestor.	Punto 1 1.4; 1.5 Punto 4 4.1 ; 4.4; 4.5 Punto 11 11.1.2; 11.1.3; 11.1.4; 11.2.1; 11.2.2 Este punto se refuerza con pruebas de laboratorio de DBO ₅ y <i>Coliformes totales y fecales</i> además con datos recolectados en el campo.

Objetivo Específico	Variables	Definición Operacional	Indicadores	Instrumento Cuestionario
b. Definir las mejores opciones técnicas para el buen funcionamiento del biodigestor en el área de estudio.	Mejores opciones técnicas.	Tipos de biodigestores acorde con el sustrato de las fosas de fermentación.	<p>Cantidad de gas producido en cada unidad productiva.</p> <p>Número de biodigestores que realizan un buen proceso de evacuación de los desechos.</p> <p>Cantidad de macronutrientes producidos en los biodigestores.</p>	<p>Punto 1 1.9; 1.10</p> <p>Punto 6 6.1; 6.2</p> <p>Punto 7 7.2</p> <p>Punto 8 8.1</p> <p>Punto 10 10.2</p> <p>Este objetivo: se cubre además mediante investigación teórica y práctica de personas de amplia experiencia en el manejo de biodigestores. De esta forma se tiene comunicación directa con Ing. Raúl Botero de la EARTH en Guácimo de Limón y el MSc. Gabriel Castillo de la Escuela de Diseño Industrial del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITC)</p>

Objetivo Específico	Variables	Definición Operacional	Indicadores	Instrumento Cuestionario
c. Identificar indicadores de cambio en las relaciones sociales, tanto dentro de la unidad productiva como en su entorno.	Cambio en las relaciones sociales.	Aumento en la fluidez de la información acerca del nuevo sistema y mejoramiento de relaciones y condiciones de producción.	Número de porquerizas funcionando como unidades demostrativas y productores transmitiendo el conocimiento adquirido. Cantidad de porquerizas con distribución equitativa de utilidades.	Punto 1 1.6; 1.7; 1.8 Punto 2 2.1.2; 2.1.3 2.2.2; 2.2.3 Punto 3 3.2 Punto 7 7.1 Punto 11 11.1.1 Punto 12 12.1; 12.2; 12.3; 12.4; 12.5
d. Analizar la disponibilidad de adopción del sistema de biodigestor por parte de productores de cerdos.	Adopción del sistema de biodigestor.	Grado de aceptación del sistema de biodigestor por parte de los productores debido a sus múltiples beneficios.	Número de porcicultores que accedieron a participar en la investigación.	Punto 5 5.1; 5.2; 5.3 5.4 Punto 6 6.2
e. Definir la rentabilidad económica de la implementación de la tecnología de biodigestor en la zona.	Rentabilidad económica.	Apertura a la inversión conjunta para la adopción de la tecnología.	Recuperación de la inversión por la utilización de biogás y bio-abono.	Punto 4 4.2; 4.3 Punto 10 10.1 Punto 11 11.3.1; 11.3.2; 11.3.3
f. Determinar los factores que regulan la producción porcina para cada productor.	Factores que regulan la producción porcina.	Determinación de continuar produciendo bajo diversas circunstancias ajenas al control del productor.	Número granjas porcinas con requerimientos legales al día. Porcentaje de unidades productivas que generan utilidades.	Punto 2 2.2.1 Punto 3 3.1 Punto 5 5.5 Punto 6 6.1 Punto 9 9.1; 9.2; Punto 10 10,3; 10.4

9.4.2. Cuadros de recolección de datos de campo

Cuando se construyen biodigestores, el punto medular para su buen funcionamiento es darle una dimensión acorde con el volumen de materia orgánica que es preciso que digiera en un tiempo determinado. Para esto, el primer paso fue la construcción de un cuadro que permitió definir este volumen de una manera rápida pero con datos confiables, por tanto se seleccionaron dos tablas de producción de estiércol de uso muy generalizado. Éstas predicen la producción de estiércol con respecto al tamaño del animal en kg y basados en una alimentación casi de un 100% de concentrados comerciales, de venta en Costa Rica. El tipo de alimentación de los cerdos es muy importante a la hora de definir el volumen de excretas diario, ya que ésta determina la digestibilidad y absorción de materia que tiene cada individuo.

Con el fin de comprobar la compatibilidad estadística entre los cuadros de las dos fuentes, fue necesaria la realización de una prueba f de igualdad de varianzas y una prueba t para dos muestras, suponiendo varianzas iguales.

Se constató que los datos de las dos tablas no presentaron diferencias estadísticas significativas en los volúmenes de producción de estiércol, según el peso del animal. Se utilizaron regresiones del programa StatMost 3.0 para predecir los volúmenes de estiércol, DBO y macro-nutrientes; con esta información fue posible la confección adecuada de cada sistema de tratamiento de aguas.

Adicionalmente se realizaron mediciones volumétricas para determinar si la cantidad de agua cambió al usar el biodigestor y si este cambio es benéfico para la preservación del recurso hídrico. Para esto se contrastó la cantidad medida en litros, gastada por el productor convencionalmente y la cantidad de agua recomendada para que se realice un buen proceso de fermentación dentro del biodigestor.

Para determinar si existe cambio en el gasto de agua fue necesario demostrarlo estadísticamente. Es por esta razón que se realizó una prueba t para medias de dos muestras emparejadas, con el fin de determinar si existen diferencias en los datos de antes y después de la utilización del biodigestor. La prueba se efectuó utilizando el análisis de datos del programa Microsoft Excel.

Dentro del mismo cuadro se recuperó el alcance de la capacitación dentro de las unidades productivas. Por este motivo fue preciso contabilizar cuántas personas fueron capacitadas, porque esto es un indicador social importante del impacto de la iniciativa dentro de la comunidad en que se desarrolla.

También se hizo necesario complementar el cuadro con información de ahorro energético, ya que el biodigestor ofrece una nueva fuente de energía que pretende sustituir la convencional al menos para la cocción de alimentos.

Ejemplo de Cuadro de Recolección de datos de Campo para las Unidades Productivas

Número	Nombre del Productor	Número de Personas Capacitadas	Consumo de Agua Antes (l/día)	Consumo de Agua Después (l/día)	Ahorro por Consumo de Energía (\$/mes)
1					
2					
3 . . .					

Se levantó la información de las porquerizas dentro del territorio escogido que cuentan con un biodigestor, previas al establecimiento de las 40 unidades que contempla el estudio, fue fundamental a la vez determinar la cantidad de cerdos en porquerizas que no tratan sus desechos y que no fueron contemplados por esta iniciativa, ya que las condiciones de infraestructura no se los permitieron. Estos últimos datos de porquerizas correspondieron a las que han sido censadas por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (Mena, 2004. Com. Pers.).

9.4.3. Pruebas de laboratorio

La investigación contempla el análisis de dos unidades productivas para constatar una variable relevante en la investigación: disminución en contaminación de aguas. Para este caso se realizó un muestreo y no se trabajó con la población total, se buscó en este sentido reducir los costos al mínimo y se empleó la fórmula estadística para el cálculo de la muestra = n

$$n = n_0 / (1 + n_0/N) \text{ (Gómez, 2004)}$$

En este caso:

n es el número de muestras

N es el número de elementos que componen la población

n_0 es el la cantidad de muestras que se desea incorporar para la reducción de costos, en este caso es 2.

Por tanto: $2/(1+2/40) = 1,90$ lo que implica que dos muestras son un tamaño adecuado. La selección de estas dos muestras se hizo con un muestreo simple al azar sin reemplazo con la herramienta de calculadora que genera números al azar, por lo que la porqueriza seleccionada para el análisis no tuvo la posibilidad de ser elegida nuevamente.

Para este último punto las muestras fueron recolectadas por el investigador; estas muestras corresponden al lavado diario de las porquerizas y del efluente del biodigestor, para determinar si el sistema tiene efectos positivos en el mejoramiento de la calidad de los vertidos.

Las muestras fueron llevadas a la Universidad de Costa Rica, donde en el Centro de Investigación en Contaminación Ambiental (CICA) realizaron las pruebas de DBO_5 y proporcionó las pruebas de *Coliformes totales* y *fecales* respaldando los resultados. La decisión de realizar el análisis en el CICA se basa en que éste se encuentra acreditado ante el Ente Nacional de Acreditación, siguiendo los lineamientos de la norma INTE-ISO/IEC 17025:2000 en el ámbito de calidad de aguas.

9.5. Desarrollo de la investigación

Con el fin de buscar financiamiento para los materiales y labores logísticas para la implementación de los 40 biodigestores, se debió en noviembre del 2003, presentar la iniciativa como proyecto a FUNDECOOPERACION, institución que dona recursos financieros para apoyar acciones que orientan el uso adecuado de los recursos naturales.

Desde enero del 2005 hasta noviembre del mismo año, se concentraron las labores de instalación de los sistemas de tratamiento y la recolección de datos de campo; las principales características de las unidades productivas seleccionadas se muestran en el cuadro ocho.

Cuadro 8. Características de las granjas porcinas seleccionadas como población

Número	Nombre del Productor	Cantón	Localidad	Fuente de Agua Afectada	Nº Animales
1	Marvin Solano Castillo	Tilarán	Tronadora	Quebrada San Luis	21
2	Evaristo Campos	Carrillo	Sardinal	Río Sardinal	20
3	Carlos Vega Soto	Bagaces	Cuipilapa	Río Cuipilapa	11
4	Gilberto Wong Segura	Abangares	Las Juntas	Río San Juan	48
5	Odinei Carranza González	Nicoya	Bella Vista	Juan de León	33
6	Jeanneth Zeledón Agüero	Hojancha	Monte Romo	Quebrada	16
7	Gricel Chavarría Chavaría	Nicoya	Zaragosa	Río Frio	6
8	Porfirio Campos Gómez	Nicoya	Zaragosa	Río Frio	13
9	Roger Gómez López	Nicoya	Santa Elena	Quebrada	14
10	Colegio Técnico de Carrillo	Carrillo	Filadelfia	Río Las Palmas	36
11	Yuri Juárez Baltodano	Nicoya	Quebrada Bonita	Quebrada	12
12	Anival Valverde	Nicoya	Dulce Nombre	Río Dulce Nombre	18
13	Eduardo Montero García	Abangares	El Dos	Quebrada San Rafael	11
14	Emilio Sánchez	Cañas	Santa Lucía	Quebrada Las Pozas	19
15	Felipe Chévez	Abangares	Colorado	Pozo de Agua Superficial	27
16	Francisco Bogantes Herrera	Abangares	Las Juntas	Río San Juan Chiquito	9
17	Wilverth Alvarado Méndez	Bagaces	Guayabo	Río Piedras	22
18	Odilí Vásquez Esquivel	Nicoya	Caimital	Quebrada	13
19	Jesús M ^a . Rojas	Nicoya	San Rafael	Río Potrero	10
20	Enrique Ajoy	Nicoya	Curime	Río Potrero	37
21	María E. Fonseca	Nicoya	Pozo de Agua	Quebrada	11
22	Benjamín Mora	Hojancha	Matambú	Río Matambú	22
23	Donald Masís	Nicoya	Caimital	Río Potrero	9
24	Héctor Varquero	Bagaces	La Fortuna	Quebrada	24
25	Alcidez Muños	Tilarán	Pozo Azul	Quebrada	12
26	Edwin Araya	Cañas	Bijagua	Río Naranjo	22
27	Isabel Benavidez	Nicoya	Santa Elena	Río Potrero	22
28	María Díaz	Nicoya	Naranjal	Río Naranjal	14
29	Adrián Hidalgo	Nicoya	Varillal	Río Potrero	17
30	José Enrique Rivas Alvares	Liberia	Cañas Dulces	Río Los Ahogados	36
31	Fredy Mesén	Liberia	Santa María	Río Liberia	13
32	Antonio Cerdas	Liberia	Cañas Dulces	Río Los Ahogados	37

Número	Nombre del Productor	Cantón	Localidad	Fuente de Agua Afectada	Nº Animales
33	Rigoberto Alvarado	Cañas	Nueva Guatemala	Río Corobicí	24
34	Evelio Fuentes	Cañas	Bijagua	Río Naranjo	26
35	Rafael Gonzáles	Bagaces	Guayabo	Río Cajon	45
36	Mirella Chan Chen	Abangares	Las Juntas	Río San Juan Chiquito	13
37	Sara Fernández	Abangares	El Dos	Quebrada	9
38	Oldemar Alvarado	Abangares	El Dos	Quebrada	15
39	Flor Villegas	Nicoya	Copal	Río Copal	11
40	Manuel Carranza	Abangares	El Dos	Quebrada	21
Total					799

10. Resultados

10.1. Resultados del Cuestionario

10.1.1. Aspectos Generales

Dentro de la cuenca del Río Tempisque se presentaron cantones donde la presencia de porquerizas pequeñas a medianas, es una tendencia muy marcada y fue aquí donde se intervino con la instalación de biodigestores con mayor intensidad. Nicoya es el cantón en que se instalaron más biodigestores con 16 unidades, lo que corresponde al 39% del total.

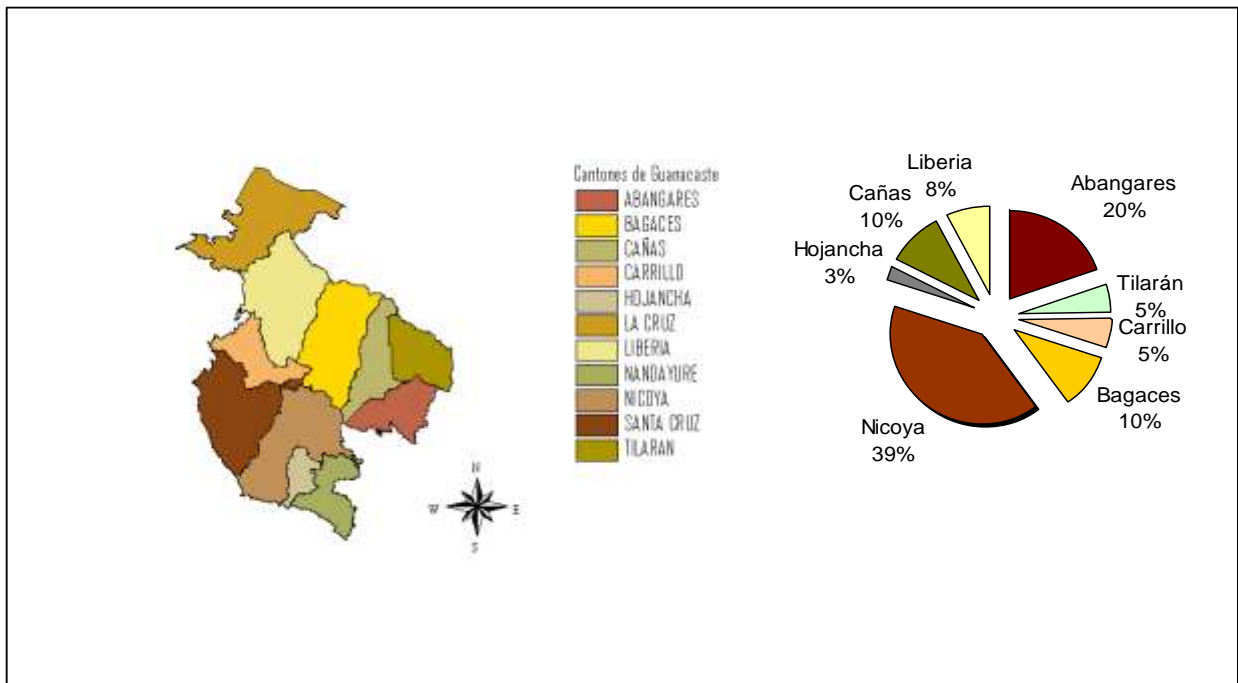


Figura 3. Distribución de biodigestores por cantón

En el cantón de Hojancha, aunque no se encuentra dentro del territorio de la cuenca del Río Tempisque, es un área de influencia directa en cuanto a transmisión de tecnologías, sobre todo en el campo de agricultura y ganadería; es por esto que se decidió instalar un biodigestor en esta zona. Otro de los cantones que se impactó con menor fuerza es Cañas, ya que aquí el censo de porquerizas no es exhaustivo.

Las porquerizas en estudio están concentradas en el desarrollo de cerdos para su venta en pie y en canal, donde los pesos de venta oscilan entre 60 y 90 kg. A la vez, en el cuadro nueve se puede apreciar que la cría y reproducción no son el fuerte dentro de las porquerizas.

Cuadro 9. Distribución del peso de los cerdos en las granjas intervenida

	Amamantando	Crecimiento	Desarrollo	Engorde	Cerda Gestante	Varraco
Unidad de Medición (kg)	15	30	60	90	130	160
Total de Cerdos	194	177	221	169	28	10

Las unidades productivas intervenidas son de tipo familiar, donde sólo 13% de las personas tiene un ingreso adicional de otras actividades fuera de la finca, por lo cual en su mayoría la economía se sostiene con los ingresos de la producción; en contraste con esta situación, sólo el 38% del total de las personas es menor de edad.

Las propiedades de los productores no representan grandes territorios, encontrándose casos desde una hectárea hasta un caso aislado de 30 Ha; pero la realidad es que en promedio, se registran propiedades de seis Ha, siendo la dimensión más frecuente de los terrenos tres Ha, como muestra el cuadro 10.

Cuadro 10. Dimensión de las Fincas de Producción

Estadísticos Descriptivos	Propiedad (Ha)
Moda	3
Media Aritmética	6
Mediana	7
Valor Máximo	30
Valor Mínimo	1

Las granjas se localizan en poblados a una distancia promedio de 20 km del centro de los cantones donde culturalmente se ha venido realizando esta actividad para consumo familiar y para generar un tipo de economía alterna, con el propósito de obtener mejores ingresos dentro del núcleo familiar.

10.1.2. Administración

Todas las unidades productivas deberían contar con permisos emitidos por el departamento de Control Ambiental del Ministerio de Salud; antes de la instalación de los biodigestores se contaba con dos unidades que tenían permiso de funcionamiento, luego de la instalación de los

sistemas de tratamiento son de conocimiento de este Ministerio 10 unidades. Sin embargo, no existen documentos formales por parte de la institución que acredite legalmente las granjas, tampoco se les exige un reporte operacional según lo establece el Reglamento de Vertidos y Reuso de Aguas Residuales (Decreto Ejecutivo N° 26042 publicado en La Gaceta del 19 de Junio de 1997).

En el rubro de cumplimiento de la legislación laboral de Costa Rica, se centra principalmente en el pago de seguros para los empleados, salarios acordes con los estipulados por el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social y reporte de planillas ante el Instituto Nacional de Seguros (INS); la responsabilidad social dentro de las unidades productivas es un factor fundamental de desarrollo comunal.

En 36 granjas porcinas se cumple a cabalidad con lo estipulado en la legislación laboral. Todas las personas que laboran en las porquerizas están cubiertas por el Seguro Social de manera directa por el patrono o seguro voluntario, además de forma indirecta cuando son menores de edad.

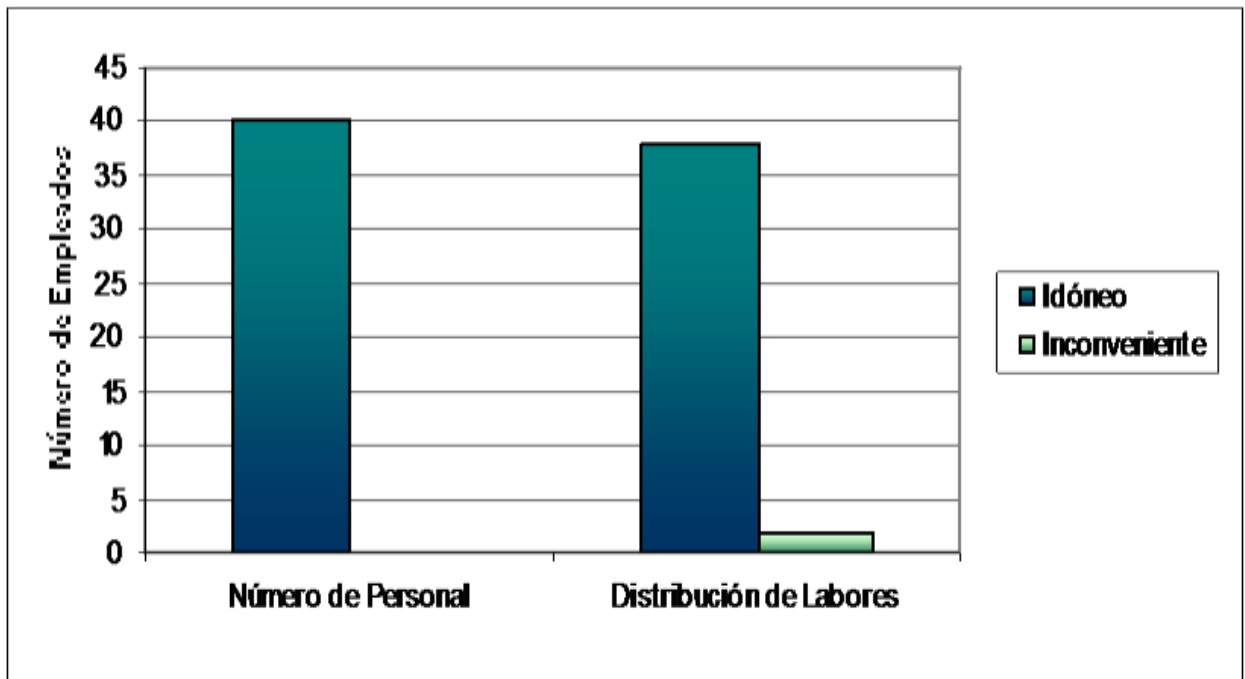


Figura 4. Condiciones de trabajo para el personal dentro de la unidad productiva

Según Araya, (1984) en un sistema de producción de cerdos intensivo se requieren al menos de dos personas para la atención completa de 100 animales. Las unidades productivas intervenidas no superan los 48 animales, por tanto el personal que maneja las porquerizas en todas las oportunidades cumple con este requisito. Sin embargo, en dos de ellas las labores son

recargadas en los dueños, a pesar de ser un negocio familiar, lo que la figura cuatro describe como una distribución del trabajo inconveniente.

Cuando se busca introducir un producto o práctica nueva dentro de un entorno, son necesarias labores de capacitación. Sin embargo, su elevado costo hace que se seleccionen estratos o personas claves como diseminadores de la información y la práctica; pero lo adecuado sería integrar a todas las personas involucradas en el proceso. La información recabada de las unidades productivas no fue la excepción. Sólo el 35% de los propietarios (en algunos casos representantes), había sido capacitado en aspectos propios de producción agropecuaria.

Las condiciones propias de la instalación de los biodigestores dentro de las granjas porcinas hicieron que se pudiera capacitar a todos los involucrados en la producción y a sus familias que deben contribuir con algunos cuidados para la manutención adecuada del sistema. A la vez, permitió la incorporación de personas ajenas a la unidad productiva, que recibieron la capacitación de campo.

10.1.3. Organización

Dentro de la organización de las granjas se evidencia en el primer momento de aplicación del cuestionario que no se tenía una producción definida durante el año, sin embargo, por condiciones propias de la instalación del sistema de tratamiento y su funcionamiento adecuado, se debió definir volúmenes fijos en cuanto a número de cerdos y sus pesos promedio, lo que es un requisito indispensable para optar por un permiso de funcionamiento, según el Reglamento de Granjas Porcinas (publicado en la Gaceta del 26 de abril del 2005).

La figura cinco muestra un impacto importante en el nivel social ya que el 80% de los biodigestores sirvió como unidad demostrativa dentro de la comunidad, lo que hace que el conocimiento y la experiencia local, impulse que más productores adecuen las instalaciones para la implementación de estos sistemas. Tal es el caso de los cantones de Abangares y Nicoya, donde se han captado recursos de otras entidades para seguir mejorando las granjas porcinas.

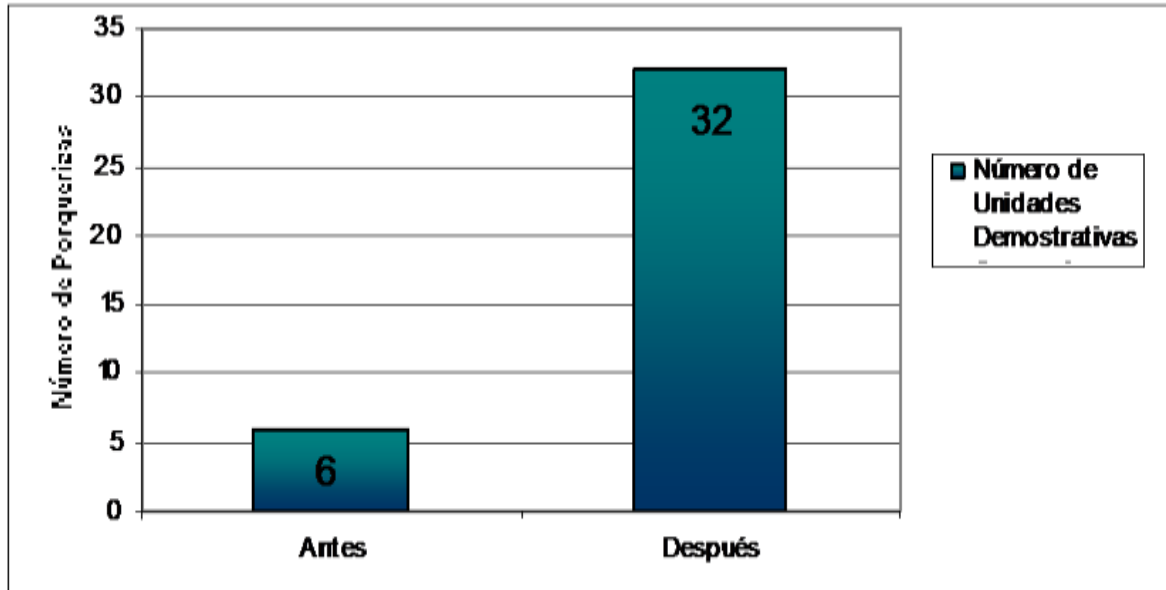


Figura 5. Porquerizas como unidades demostrativas comunales

10.1.4. Aspectos Productivos

La incorporación de productos amigables con el ambiente ha sido una tendencia creciente desde el año 1996, en Costa Rica existen personas e instituciones abocadas a producir este tipo de bienes; dentro de las unidades productivas intervenidas no se tenía como una prioridad el uso de este tipo de productos y las 18 unidades en las que no se utilizaban productos químicos, tampoco utilizaban otro tipo de insumos. Después de la instalación del biodigestor, tres productores decidieron probar el EM distribuido por la Universidad EARTH, para la desinfección, que es un producto natural con base en microorganismos de bajo costo y que hasta el momento no ha interferido con los procesos dentro del biodigestor.

Los 19 productores que en el año 2006, siguen utilizando productos como carbolina o cloro comercial para la desinfección, lo están aplicando en forma controlada y racional, de tal manera que su tiempo de volatilización no se traslape con los períodos de lavado o que los apartos tratados tengan un tiempo de retiro prudencial.

Dentro del mismo contexto de productos amigables con el ambiente, la información recabada muestra que un 52,5% de los entrevistados manifestó no conocer acerca de los abonos orgánicos y la utilización de éstos dentro de las personas entrevistadas, sólo alcanzó el 12,5%, siendo el compost de conocimiento más generalizado.

En el segundo momento de aplicado el cuestionario, todas las personas dijeron conocer el bio-abono y utilizarlo. Partiendo de la premisa teórica de que en general una hectárea de terreno necesita 200 kg de nitrógeno por año. Se tiene que es posible mantener con el volumen de producción existente en las granjas desde un cuarto de hectárea hasta 1,7 Ha para la unidad más grande, la cual cuenta con 36 animales.

10.1.5. Uso de Tecnología

Los desechos de las unidades productivas según los resultados de la cuestionario no estaban siendo ni seleccionados ni tratados antes de poner en funcionamiento los biodigestores, lo que ubica la actividad en el esquema tradicional donde sus desechos se disponen y eliminan de una manera irresponsable con el ambiente. Actualmente sólo el biodigestor se utiliza como medio de descontaminación y manejo de desechos.

El 62% de las personas entrevistadas conocía lo que era un biodigestor, lo que representa 25 personas de los 40 entrevistados; de estas 25 personas, 17 son propietarios de las unidades productivas, mientras que sólo en 8 unidades productivas, el conocimiento era generalizado en todo el núcleo familiar.

En todas las porquerizas los administradores o dueños se mostraron anuentes desde el primer momento a instalar un biodigestor, si se les proporcionaba ayuda técnica y parte de los materiales.

Como lo muestra la figura 6 en general, las unidades productivas donde se encuentran las porquerizas han diversificado su producción y tan sólo ocho de ellas se sostienen únicamente con los ingresos de la cría y comercialización de los cerdos. El 37% de los productores ha apostado por la agricultura como fuente alternativa de entrada de divisas, mientras que el 19% ha combinado la agricultura con la ganadería; por otra parte una actividad muy incipiente como lo es la acuicultura ocupa tan sólo el 6% de los productores que ha decidido ampliar sus horizontes de producción.

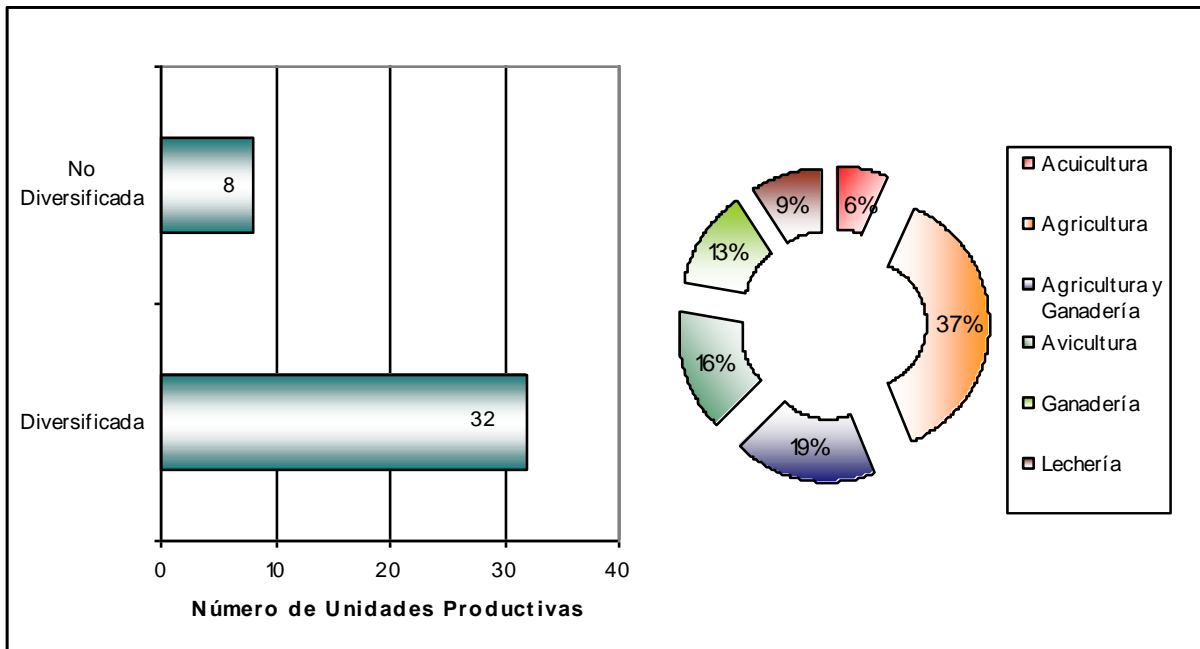


Figura 6. Diversificación de actividades dentro de las unidades productivas

10.1.6. Infraestructura

El tipo de animal que se tiene en la porqueriza define el espacio que se le debe asignar dentro de la infraestructura a cada individuo; sólo una porqueriza presentó problemas de espacio en un primer momento, el cual fue solventado para la segunda aplicación del cuestionario. La infraestructura en general de todas las granjas presentó condiciones mínimas para la instalación de un biodigestor, con lo cual sólo se debieron realizar pequeñas modificaciones en los sistemas de conducción de aguas residuales (Anexo 2).

10.1.7. Seguridad e Higiene

La situación tanto antes como después de la instalación de los biodigestores es la misma con respecto al acceso a teléfono en caso de emergencias laborales, ya que el servicio no alcanza al 55% de los entrevistados, ni siquiera el de la telefonía móvil.

En cuanto a la limpieza de las porquerizas, tradicionalmente esta labor se realiza de una a dos veces al día, por lo que el efectuar el lavado para la carga del biodigestor no representó un cambio en los hábitos de aseo diario, como lo manifestaron los entrevistados.

10.1.8. Equipo de Protección

Antes de instalar los biodigestores, el 60% de los encuestados manifestó no utilizar equipo adecuado para las labores de limpieza en las porquerizas, como lo son guantes y botas de hule, mientras que luego de la puesta en funcionamiento de la iniciativa, se determinó que sólo cinco personas de los 40, no utilizan el equipo completo, sin embargo utilizan botas de hule que es uno de los elementos más importantes para proteger su salud.

10.1.9. Aspectos de Comercialización

La sostenibilidad de un negocio de producción de bienes depende de la cartera de clientes y el volumen de sus pedidos, a pesar de esto los resultados del estudio muestran que sólo el 35% de los productores posee demandantes fijos; al menos para una parte de sus productos, el 70% tiene estimada la cantidad de cerdos que se consumen generalmente en sus unidades productivas.

El cálculo de los costos de producción determina la rentabilidad y proyección de ganancias por la venta de artículos o bienes, por tanto debería ser una práctica rutinaria en la producción de cerdos, pero tanto antes como después de implementados los biodigestores, sólo 13 productores llevan un cálculo de producción adecuado, los restantes 27 no lo consideran como una actividad significativa en su producción.

El volumen de producción anual dentro de las porquerizas es bastante difícil de definir ya que los cerdos son comercializados a diferentes edades según los requerimientos específicos de los clientes, sin embargo para tener un volumen adecuado de producción de biogás y a la vez un tiempo de retención propicio para las excretas, se debió definir luego de la primera vez de aplicación del cuestionario, un número adecuado de cerdos según la capacidad instalada.

Las fluctuaciones del precio del cerdo es variable durante el año, pero para los productores el precio del producto aporta los recursos económicos para cubrir los costos de de operación de sus unidades productivas y además genera ganancias.

10.1.10. Aspectos Ambientales

El agua es uno de los recursos naturales que se perjudica más por la contaminación que producen las porquerizas, que desechan sus residuos de forma tradicional y muchos de los productores no eran conscientes del impacto que causa su actividad al medio ambiente, como lo muestra la figura siete.

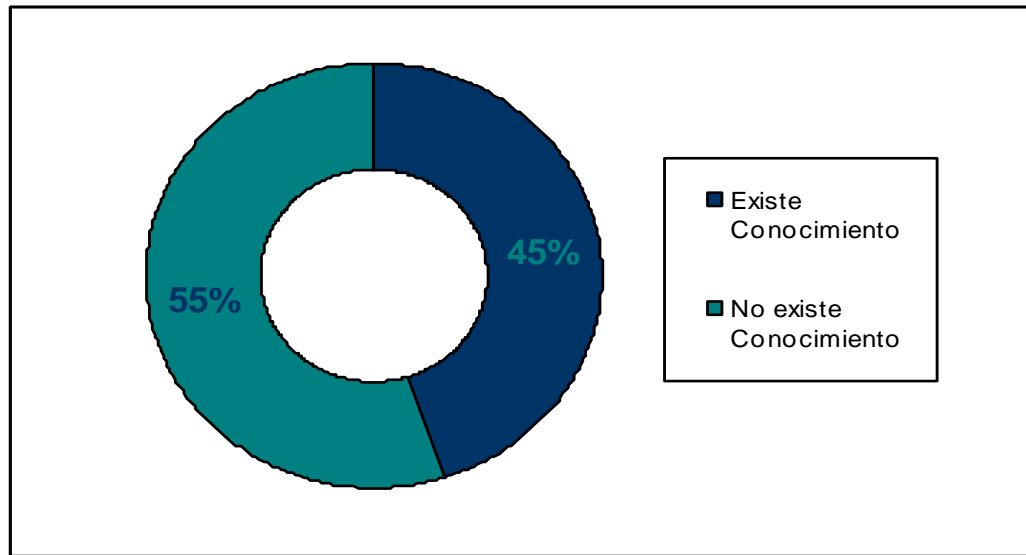


Figura 7. Conocimiento del porcicultor de la contaminación que causa su actividad

El productor en un primer acercamiento denotó que en su mayoría no conocían que su actividad generara algún grado de contaminación; luego de las capacitaciones y al aplicar nuevamente la misma pregunta, al menos están conscientes de que causan daño al agua, al no brindar un tratamiento adecuado a los residuos de su actividad productiva. En todas las unidades productivas el agua procede de fuentes con características adecuadas para ser utilizadas en el biodigestor, pero ningún productor tenía previsto una disminución en el consumo, que permitiera su adecuada utilización; en la figura ocho se muestra la distribución de los poblados donde se localizan las granjas porcinas y las fuentes de agua que se impactan con la actividad.

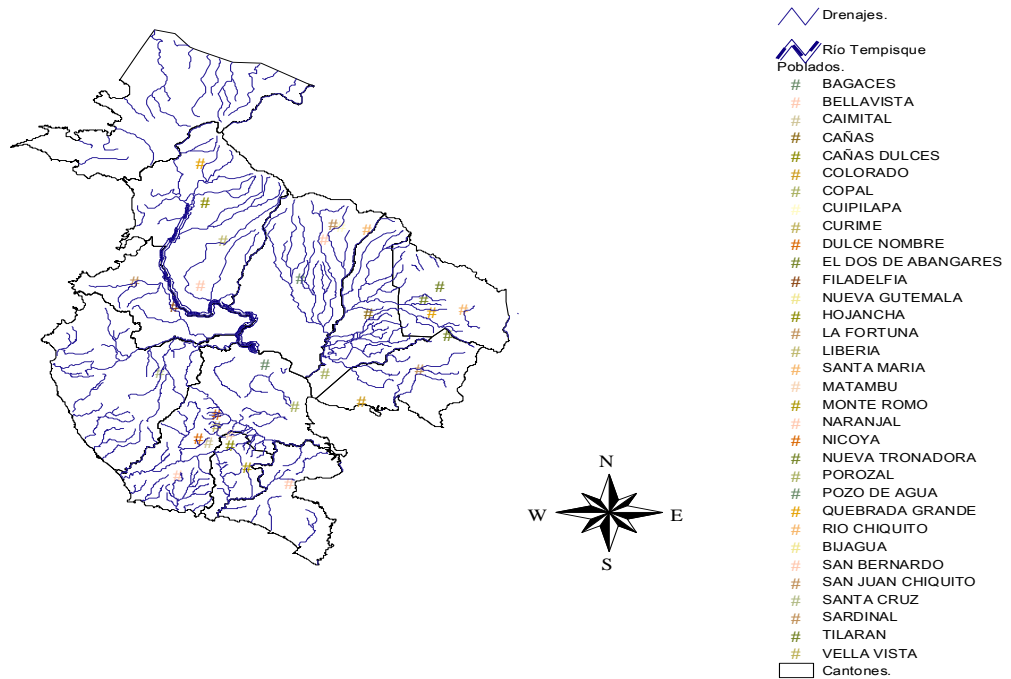


Figura 8. Ubicación de biodigestores y drenajes dentro de la Cuenca del Río Tempisque

Luego de la puesta en funcionamiento del sistema de biodigestor en la cuenca según lo muestra la figura 8, en todos los casos se reguló la cantidad de agua por disposiciones técnicas con el fin de optimizar la producción de gas dentro del mismo y así se reflejó en la respuesta del cuestionario.

La caracterización inicial y separación de los desechos dentro de una unidad productiva es el paso inicial para dar un tratamiento adecuado a dichos residuo, en ninguna de las porquerizas se encontró este tipo de acciones. Al instalar los biodigestores, todas las excretas, orina y residuos de alimentos se depositan dentro del biodigestor mediante un sistema de tubería conectado a cada cubículo donde se encuentran los cerdos, es por esta razón que todos los encuestados al finalizar el proceso manifiestan que identifican el material a tratar en el biodigestor y le dan un proceso adecuado.

Dentro del campo ambiental se ha previsto realizar un uso más eficiente de los recursos naturales y en este sentido dentro de las acciones que se han desarrollado en Costa Rica, se encuentra la incorporación de energías alternativas. La realidad de las granjas porcinas en este aspecto la muestra la figura nueve.

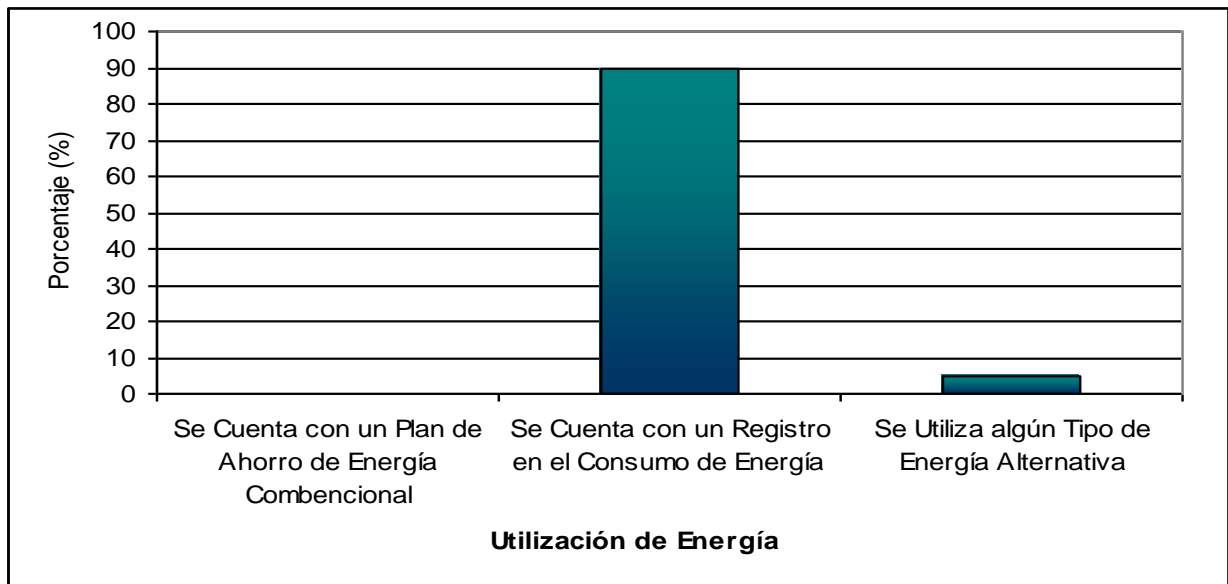


Figura 9. Utilización de energía dentro de la unidad productiva

En ninguna de las porquerizas existe un plan de ahorro energético. En el 90% de ellas existe un registro de consumo gracias a que utilizan gas y sólo en el 5% correspondiente a dos unidades productivas, antes del desarrollo de los biodigestores donde se utilizaba energía alternativa. En una de estas unidades se utiliza la energía solar para producir energía eléctrica y en la otra, la misma energía es utilizada directamente para calentar el horno para la cocción de alimentos.

Posterior a la puesta en funcionamiento de todos los biodigestores, se cuenta con una disminución en el gasto energético convencional y se sabe cual es el ahorro mensual de la utilización de la energía alternativa que produce el proceso de biodigestión.

10.1.11. Equidad de Género

En el nivel mundial se ha gestado un movimiento donde se pide igualdad de género en la toma de decisiones y participación en los puestos de trabajo; dentro de las granjas porcinas el involucramiento del núcleo familiar en las labores de capacitación, construcción y puesta en funcionamiento del biodigestor trajo consigo un aumento del 15% de mejora en la participación de los involucrados en la toma de decisiones.

Con respecto a la participación en capacitaciones de las personas que tienen que ver con la producción dentro de las fincas, antes del proyecto no era posible para todos ya que la inversión para hacerlo no repercutía en iguales beneficios; sin embargo, la instalación de los biodigestores dentro de las unidades productivas da como resultado una percepción de parte de los productores, los empleados y sus familias, que se llegó a capacitar la totalidad de las partes.

La figura 10 muestra que al aplicar el cuestionario, el 20% de las mujeres no es partícipe en la toma de decisiones dentro de la unidad productiva. Sin embargo, éstas tampoco laboran dentro de ellas, aunque sí son beneficiarias directas de los recursos económicos; la gran mayoría participa activamente en la toma de decisiones ya que las porquerizas incorporadas al estudio son en la generalidad de oportunidades, un negocio familiar, donde todos participan activamente. En la totalidad de los casos, cuando las mujeres laboran en los aspectos productivos tiene resuelto el cuidado de sus hijos y en muchas oportunidades, éstos también contribuyen en los trabajos propios de la actividad.

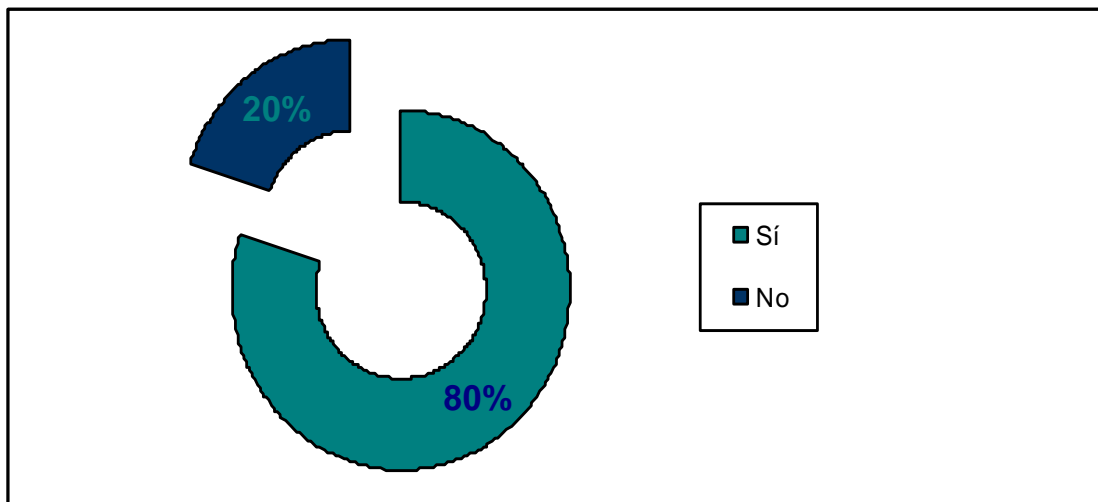


Figura 10. Mujeres con poder de decisión

En tan sólo el 10% de los casos, los productores no perciben que las ganancias están siendo repartidas equitativamente ya que en estas oportunidades, los empleados no devengan una partida directamente de su trabajo dentro de la porqueriza, sino que poseen un salario base sin importar el volumen de producción ni las actividades que realizan.

10.2. Construcción de tabla de producción de estiércol

Con el fin de unificar el volumen de producción de excretas y pesos de los animales en datos reportados por el Centro de Nutrición Animal de la Universidad de Costa Rica (Campabadal, 1994) y Publicaciones Profesionales Venezuela (Menoyo, 2004) fue preciso realizar a los primeros una regresión con ayuda del programa estadístico StatMost 3.0.

La mejor regresión fue de tipo polinomial con un $R^2 = 0,99835505$ lo cual le confiere gran confiabilidad. La ecuación resultante es: Estiércol (kg) = $0,5791 + 0,0484341 * \text{Tamaño Animal (kg)}^1 - 8,7116 \times 10^{-5} * \text{Tamaño Animal (kg)}^2$.

Los datos reportados en Venezuela son semejantes a los obtenidos por la publicación costarricense con un tipo de alimentación también para cerdos, con base en concentrados. El motivo de mezclar los datos es obtener de la última publicación datos adicionales como contenido de agua, DBO y macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio).

Cuadro 11. Producción de estiércol por peso del animal según datos del Centro de Investigación en Nutrición Animal de la UCR (CINA) y Publicaciones Profesionales Venezuela (PPV)

Animal (kg)	Estiércol CINA (kg)	Estiércol PPV (kg)	Estiércol Promedio (kg)
10	1,05	0,66	0,86
30	1,95	1,55	1,75
60	3,17	3,01	3,09
90	4,23	4,19	4,21

Para asegurar que no existen diferencias estadísticas significativas entre los datos reportados en el cuadro 11 por las dos fuentes, se procedió a realizar una prueba f con un $\alpha: 0,05$ donde $p > 0,4263$ lo cual indica que las varianzas entre los datos son iguales.

Fue preciso posteriormente realizar una prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales con $\alpha: 0,05$. ($\bar{X}_1 : 2,60 \pm 1,39$ $\bar{X}_2 : 2,35 \pm 1,56$; 3 g.l. $p > 0,82$ por lo que $\bar{X}_1 = \bar{X}_2$).

Seguidamente se procedió a unificar los datos haciendo un promedio aritmético en cada uno de ellos y se siguió con la construcción de una ecuación integral que permitiera extrapolar datos para obtener aproximaciones con un mayor nivel de detalle, si fuera necesario.

Tipo de Animal	Unidades de Medición	Amamantando	Crecimiento	Desarrollo	Engorde	Ceda Gestante	Varraco
Producción Estiércol por Peso	m ³ /día/animal	0.0013	0.0021	0.0038	0.0055	0.0078	0.0095
Producción Estiércol Total	m³ /día	0.0300					
Contenido de agua	%	90.8	90.8	90.8	90.8	90.8	90.8
Producción DBO5	kg/día/animal	0.0722	0.1455	0.2890	0.4285	0.6082	0.7383
Producción Total DBO5	kg/día	2.2816					
Contenido de Macro-Nutrientes							
Nitrógeno	kg/día/animal	0.0072	0.0129	0.0227	0.0309	0.0395	0.0445
Producción Total de Nitrógeno	kg/día	0.1578					
Fosfato	kg/día/animal	0.0055	0.0096	0.0169	0.0231	0.0299	0.0339
Producción Total de Fosfato	kg/día	0.1189					
Potasio	kg /día/animal	0.0055	0.0104	0.0184	0.0245	0.0303	0.0333
Producción Total de Potasio	kg/día	0.1224					
Producción Total de macronutrientes	kg/día	0.3991					
Producción de Biogás	m³/día	1.1468					
Poder Calórico	kcal/día	11353					

Los datos correspondientes a los macronutrientes en el cuadro 13 corresponden a contenidos de los mismos en el efluente o bioabono. Son datos muy conservadores ya que para el nitrógeno se estima una concentración de 0,72%, del fosfato 0,54% y del potasio 0,58% del total de materia orgánica que ingresa al biodigestor. Datos reportados por Indrik (1985) enuncian que estos porcentajes están en el orden de 2,6%, 1,5% y 1% respectivamente para cada macronutriente, con dicha información se pudo dimensionar, diseñar y construir los 40 biodigestores:

Cuadro 14. Características resumen de las unidades de producción porcina intervenidas

Nombre del Productor	Tipo de biodigestor	Tamaño de Biodigestor (metros)	Costo del Biodigestor (\$)	Excremento Estabilizado (kg/día)	Producción de Macronutrientes (kg/día)	Poder Calórico kcal/día
Marvin Solano Castillo	Tubular	10	422	62	1,1457	32049
Evaristo Campos	Media Bolsa	3	553	57	1,0344	29184
Carlos Vega Soto	Tubular	5	311	32	0,5992	16499
Gilberto Wong Segura	Tubular	15	509	94	1,6750	48628
Odinei Carranza González	Tubular	10	412	65	1,1796	33439
Jeanneth Zeledón Agüero	Tubular	5	311	34	0,6174	17568
Gricel Chavarria Chavarria	Tubular	3	262	19	0,3641	9998
Porfirio Campos Gómez	Tubular	5	311	33	0,6287	17218
Roger Gómez López	Tubular	5	311	33	0,6177	17060
Colegio Técnico de Carrillo	Media Bolsa	5	616	95	1,7138	49019
Yuri Juárez Baltodano	Tubular	5	311	32	0,5883	16340
Anival Valverde	Media Bolsa	3	553	57	1,0624	29260
Eduardo Montero García	Tubular	5	311	31	0,5659	16203
Emilio Sánchez	Tubular	10	416	65	1,2071	33279
Felipe Chévez	Media Bolsa	3	553	61	1,1085	31394
Francisco Bogantes Herrera	Tubular	5	311	33	0,6249	17176
Wilverth Alvarado Méndez	Tubular	12	439	77	1,4411	39486
Odilí Vásquez Esquivel	Tubular	5	311	32	0,6006	16665
Jesús M ^o . Rojas	Tubular	5	311	33	0,6074	16766
Enrique Ajoy	Media Bolsa	5	616	100	1,8398	51284
María E. Fonseca	Tubular	5	311	31	0,5787	15906
Benjamín Mora	Tubular	6	316	37	0,6619	19232
Donald Masís	Tubular	5	311	32	0,6044	16584
Héctor Varquero	Tubular	15	509	91	1,7006	46790
Alcidez Muños	Tubular	5	311	33	0,5841	16761
Edwin Araya	Tubular	10	416	64	1,1822	32911
Isabel Benavidez	Media Bolsa	3	553	58	1,0522	29958
María Díaz	Tubular	5	311	32	0,5890	16489
Adrián Hidalgo	Tubular	8	373	50	0,9381	25834
José Enrique Rivas Alvarez	Tubular	20	626	129	2,4177	66336
Fredy Mesén	Tubular	5	311	33	0,6192	17076
Antonio Cerdas	Tubular	13	444	83	1,5388	42782
Rigoberto Alvarado	Tubular	11	417	71	1,3351	36748
Evelio Fuentes	Tubular	11	417	69	1,2889	35478
Rafael Gonzáles	Tubular	15	509	97	1,7513	49714
Mirella Chan Chen	Tubular	5	311	33	0,6065	16899
Sara Fernández	Tubular	5	311	32	0,6044	16584
Oldemar Alvarado	Tubular	5	311	31	0,5614	16196
Flor Villegas	Tubular	3	262	20	0,3639	10279
Manuel Carranza	Tubular	10	416	62	1,1656	32081
		Total=	15904	2135	39	1099154

Como evidencia el cuadro 14 con la producción de estiércol total anual de las granjas porcinas se podrían abonar 28,24 Ha con las cantidades adecuadas de nitrógeno. Con la instalación de las 40 unidades se estabilizan la cantidad de 2 135 kg/diarios de excremento, el cual al ser tratado mediante el sistema de biodigestor alcanza una efectividad tal que se provoca mínimos efectos adversos sobre el recurso agua y a la vez, que se ahorra dinero con el uso de biogás y bio-ábono que permite recuperar la inversión a corto plazo.

Es evidente que ni con iniciativas anteriores de instalación de biodigestores, ni con la presente, se pudo solucionar la totalidad del problema de contaminación en porquerizas, ya que algunas unidades reportadas ante el Ministerio de Agricultura y Ganadería no contaban con las condiciones mínimas para la instalación de un biodigestor, lo que las dejó fuera de la población estudiada. En el cuadro 15 se muestra la situación por cantón:

Cuadro 15. Resumen de la situación actual de los cantones donde se instalaron los 40 biodigestores

Cantón	Estiércol Estabilizado con Iniciativas Anteriores (kg)	Estiércol no Estabilizado (kg/día)
Abangares	187,27	138,15
Bagaces	0	No disponible
Cañas	0	52,19
Carrillo	0	67,54
Hojancha	0	No disponible
Liberia	0	No disponible
Nicoya	273,23	396,03
Tilarán	690,75	No disponible
Total=	1151,25	653,91

En ningún cantón existe por parte del MAG ni otro ente, un censo confiable de la totalidad de porquerizas y en muchas de ellas las unidades reportadas son muy pocas. Sin embargo los datos obtenidos son confiables y actualizados. Dentro del área de estudio existe además una producción porcina tradicional que no contempla infraestructura de producción, los animales son criados, amarrados en los patios de las casas y su volumen de producción es muy pequeño, en ocasiones solamente para el consumo familiar, por lo cual tampoco aparecen reportados ante el MAG ni reflejados en el cuadro 15.

10.3. Resultados de hoja de campo

Uno de los factores más importantes que determina el buen funcionamiento del biodigestor es la cantidad de agua que ingresa al mismo y como lo manifestaron los productores la segunda vez que se les aplicó el cuestionario, una vez que el sistema comenzó a funcionar, se ha regulado la cantidad de agua gastada dentro de las granjas porcinas.

La energía convencional para cocción de alimentos, pasteurización y desinfección de instrumentos dentro de las unidades productivas ha sido sustituida por el uso del biogás, por

tanto, también en este aspecto existe un cambio en los hábitos de consumo como lo muestra el cuadro 16.

Cuadro 16. Resultados de recolección de datos de campo para las unidades productivas

Número	Nombre del Productor	Número de Personas Capacitadas	Consumo de Agua Antes (l/día)	Consumo de Agua Después (l/día)	Ahorro por Consumo de Energía (\$/mes)
1	Marvin Solano Castillo	4	342	161	13,90
2	Evaristo Campos	6	253	148	13,90
3	Carlos Vega Soto	7	85	81	13,90
4	Gilberto Wong Segura	5	380	240	13,90
5	Odinei Carranza González	4	355	160	13,90
6	Jeanneth Zeledón Agüero	2	158	86	13,90
7	Gricel Chavarría Chavaría	3	79	49	13,90
8	Porfirio Campos Gómez	5	123	82	13,90
9	Roger Gómez López	4	111	81	13,90
10	Colegio Técnico de Carrillo	20	1317	250	13,90
11	Yuri Juárez Baltodano	3	131	80	13,90
12	Anival Valverde	4	405	144	13,90
13	Eduardo Montero García	5	248	84	13,90
14	Emilio Sánchez	3	285	166	16,60
15	Felipe Chévez	3	277	154	13,90
16	Francisco Bogantes Herrera	4	225	86	13,90
17	Wilverth Alvarado Méndez	6	279	195	27,80
18	Odilí Vásquez Esquivel	5	127	80	13,90
19	Jesús M ^a . Rojas	5	266	83	13,90
20	Enrique Ajoy	5	443	252	13,90
21	María E. Fonseca	3	103	77	13,90
22	Benjamín Mora	3	304	92	13,90
23	Donald Masís	5	166	82	13,90
24	Héctor Barquero	5	247	235	27,80
25	Alcídez Muños	2	119	86	13,90
26	Edwin Araya	4	361	161	13,90
27	Isabel Benavídez	5	241	152	13,90
28	María Díaz	3	133	80	13,90
29	Adrián Hidalgo	5	456	126	13,90
30	José Enrique Rivas Alvares	4	393	330	27,80
31	Fredy Mesén	3	83	82	13,90
32	Antonio Cerdas	2	245	204	13,90

Número	Nombre del Productor	Número de Personas Capacitadas	Consumo de Agua Antes (l/día)	Consumo de Agua Después (l/día)	Ahorro por Consumo de Energía (\$/mes)
33	Rigoberto Alvarado	6	431	180	27,80
34	Evelio Fuentes	5	215	171	13,90
35	Rafael Gonzáles	4	170	243	13,90
36	Mirella Chan Chen	5	87	82	13,90
37	Sara Fernández	4	152	82	13,90
38	Oldemar Alvarado	6	114	81	13,90
39	Flor Villegas	4	71	48	13,90
40	Manuel Carranza	8	228	157	13,90
	Promedio	4,7	255,2	135,325	15,36

Existe una notable disminución en el consumo promedio de agua (119,875 litros/día) dentro de las porquerizas y se hizo necesario comprobar estadísticamente esta diferencia, por lo que se aplicó una prueba t para medias de dos muestras emparejadas.

Donde (\bar{X}_1 : 255,20 ± 206,41; \bar{X}_2 : 135,33 ± 67,61, tp: 2,023; p < 0,0001, 39g.l.; $\bar{X}_1 \neq \bar{X}_2$) lo cual confirma que el gasto medio de agua con el uso del biodigestor es estadísticamente diferente al gasto medio de agua en las mismas porquerizas, mientras no se utilizaba el sistema.

El consumo de energía también ha disminuido ya que en promedio se tiene un ahorro por familia de U.S. \$15,36/mes teniendo ahorros de hasta U.S. \$27,80/mes que corresponden a dos tanques de gas comercial de 25 libras cada uno.

No se debe olvidar uno de los aspectos sociales más importantes, es el número de involucrados en los procesos de capacitación. Como se evidenció en el cuestionario, el núcleo familiar y las personas inmersas en la actividad porcícola son 160, pero las personas que recibieron la capacitación dentro de las unidades productivas fueron 189 debido a que también hubo interés de algunos vecinos en ayudar y aprender.

De esta forma se desarrolla el cálculo del indicador:

Cantidad de personas capacitadas / Cantidad total de personas inmersas en la actividad = 189/160 = 1,18. Lo que indica que la capacitación cubrió al 100% de las personas que tenían relación directa con la producción y a 18% de personas con interés de aprender sobre la instalación, funcionamiento y uso del sistema de biodigestión. Esto implica una diseminación de información positiva y conocimiento práctico más allá de las unidades productivas.

10.4. Resultados de Pruebas de Laboratorio

Dentro de los parámetros de impacto ambiental más importantes en aguas residuales que deben ser analizados dentro de las granjas porcinas tenemos DBO y *Coliformes fecales* y *totales*, éstos se convierten en indicadores claros del grado de contaminación. Los resultados de las pruebas de laboratorio muestran reducciones importantes de estos dos parámetros al utilizar el sistema de biodigestor tal como se expone en el cuadro 17.

Cuadro 17. Reporte de análisis de demanda bioquímica de oxígeno y análisis microbiológicos para las granjas porcinas de los señores Wilbert Alvarado y Héctor Barquero, Bagaces (Anexo 7)

Productor	Parámetro de medición	Muestra de pila de carga	Muestra del efluente	Porcentaje de reducción (%)
Wilbert Alvarado	DBO _{5,20} (mg/l)	70 300 ± 3 500	1 076 ± 64	98
	Coliformes Totales (NMP/100 ml)	8,0 x 10 ⁶	5,0 x 10 ⁵	94
	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	8,0 x 10 ⁶	5,0 x 10 ⁵	94
Héctor Barquero	DBO _{5,20} (mg/l)	73 500	488	99
	Coliformes Totales (NMP/100 ml)	2,4 x 10 ⁷	8,0 x 10 ⁴	99
	Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	2,4 x 10 ⁷	8,0 x 10 ⁴	99

La reducción en DBO según las pruebas de laboratorio (Anexo 7) son contundentes, el sistema permite que en el medio anaeróbico la materia orgánica se descomponga eficientemente en un término de 30 días. Se preve que con la utilización del bioabono para la fertilización de pastos y otros cultivos, las bacterias aeróbicas y demás microorganismos del suelo, terminen de degradar el residuo contaminante que todavía está presente en el efluente. Sin embargo, por presentar contenidos de *Coliformes fecales* mayores a 1000/100 ml, la recomendación según el Reglamento de Reuso y Vertido de Aguas Residuales es que se debe dar un tiempo de retiro de al menos 15 días después de la aplicación de un riego de esta índole.

11. Discusión

El área que comprende la cuenca del río Tempisque posee diferentes sectores productivos agropecuarios donde por condiciones de accesibilidad de recursos, mercado y condiciones geofísicas se han especializado en la producción estratificada de algunos bienes y servicios. Por esta razón no es de extrañarse que existan cantones donde culturalmente la producción de cerdos es intrínseca a las vidas cotidianas del pequeño productor. Esto queda plasmado también en la distribución de los biodigestores dentro del territorio, como lo muestra la figura 3.

La porcicultura tradicional no contempla el uso de sistemas de tratamiento para los desechos de la producción. Los 40 productores seleccionados corroboran esta afirmación ya que en ningún caso la infraestructura de producción estaba provista con este tipo de dispositivos, indispensables para realizar la actividad responsablemente.

Aunque no se utilizaban sistemas de tratamiento, el 62% de los productores de la muestra a los cuales se les aplicó el cuestionario, manifestó conocer sobre el sistema de biodigestor y sus bondades. En su mayoría, estas personas fueron las dueñas de las granjas, lo cual indica que la promoción que había tenido el biodigestor dentro del área era apropiada, a pesar de las pocas experiencias piloto que se habían realizado.

Todas las actividades productivas generan en mayor o menor grado contaminación ambiental que afecta el entorno. Lo importante es que al desarrollarlas el productor esté consciente que genera un daño que impacta negativa y directamente otras actividades productivas y al ser humano. Por consiguiente se deben implementar medidas que minimicen o mitiguen los efectos adversos que causa la actividad que en contraposición contribuye con el desarrollo económico dentro de la sociedad.

Según el reglamento de granjas porcinas, la actividad genera una contaminación reconocida como incómoda, ya que además de los efectos adversos que causa en el agua, sobre todo superficial, se producen malos olores y generación de patógenos dañinos para la salud. Este estudio demostró que el 55% de productores manifestó no tener consciencia de que su actividad era generadora de desechos con alto potencial contaminante. Tampoco se detectó en este momento medidas que minimizaran los riesgos de contaminación.

Como resultado de la iniciativa de instalación de biodigestores todos los productores beneficiarios directos son conscientes de que su actividad es generadora de contaminación ambiental y disminuyen el impacto negativo de la misma con la utilización del biodigestor.

Las pruebas de laboratorio en los dos casos muestreados demuestran un descenso de hasta 99% de la DBO_5 , *Coliformes totales* y *Coliformes fecales* en los desechos de las granjas, lo que refleja la efectividad y pertinencia del biodigestor como sistema de tratamiento de materia orgánica para su estabilización biológica. Según Hong (1985), si el tiempo de retención de la materia orgánica dentro del biodigestor es de 15 días, se reduce un 80% de la DBO. En el caso de este estudio, el tiempo de retención es de 30 días por lo que era de esperarse una mejor digestión de los desechos.

Según el Reglamento de Reuso y Vertido de Aguas Residuales de Costa Rica para rellenos sanitarios y otras instalaciones de manejo de desechos, la finca del señor Héctor Barquero cumple aceptablemente el parámetro estipulado para $DBO_{5,20}$. Además, como lo muestra el cuadro seis, se cumple también con el parámetro estipulado de $DBO_{5,20}$ para producción agropecuaria. El biodigestor del señor Wilbert Alvarado tiene una efectividad en reducción de $DBO_{5,20}$ de 98% pero se encuentra en el límite máximo de concentración estipulado para el manejo de desechos; esto debido a que no se ha logrado estabilizar por completo el número de animales dentro de la unidad productiva, según la recomendación técnica. Sin embargo a pesar de esto el biodigestor por sí sólo representa una buena opción para tratar de manera adecuada los residuos de estiércol en porquerizas.

El volumen de almacenamiento del biodigestor determina el tiempo de retención. Esta capacidad debería ser calculada con límites máximos de animales y pesos, reportados en cada unidad productiva, ya que dimensionarlos con promedios no contempla fluctuaciones drásticas del sistema que se pueden presentar, cuando no se tiene bien planificada la demanda de mercado.

Existen en el área de estudio 3 286,36 kg diarios de cerdaza que están siendo estabilizados por medio de biodigestores, de los cuales el 65% está siendo tratado mediante las 40 unidades incorporadas en la presente iniciativa, lo que pone en evidencia la importancia ambiental de los mismos. Sin embargo hay 653,91 kg de estiércol diario proveniente de porquerizas registradas ante el MAG que no cuentan con sistema de tratamiento de sus desechos y otro porcentaje de unidades productivas no registradas que aumentan el volumen de contaminación.

Las unidades no reportadas ante el MAG crean un sesgo importante para tener una visión global de cuál es el aporte real diario de contaminación que realiza la actividad porcícola a las fuentes de agua dentro del área que comprende la cuenca. Es indispensable por este motivo realizar un censo de todas las unidades productivas, el número de animales presentes en las mismas y su volumen de producción. Este trabajo debe contar con apoyo interinstitucional, disponibilidad de personal y recursos económicos, pero es el inicio de un ordenamiento adecuado de esta actividad productiva.

En algunos sectores de la cuenca la existencia de buenas y adecuadas fuentes de agua para el consumo humano hace pensar a los productores en un recurso inagotable. Muchas de las fincas se abastecen de ojos de agua que producen más que su demanda interna, por lo cual en el primer acercamiento con los encuestados, ninguno poseía un plan de ahorro para este recurso. Luego de la puesta en funcionamiento de los biodigestores, se creó consciencia de la vulnerabilidad del recurso y de las necesidades de suministro de agua en los mismos, por lo que se disminuyó en un 53% el agua gastada diariamente en el lavado de porquerizas.

El ahorro en consumo de agua es grande y estadísticamente significativo. Existen 4 795 l/día de agua que pueden ser utilizados en otras actividades productivas de áreas más bajas. Adicional a esto, en muchos casos el ahorro disminuye los costos dentro de la unidad productiva.

Con el desarrollo de esta investigación se determina que existen 2 135 kg de estiércol diario de porquerizas que están siendo estabilizados con el uso del biodigestor y que anteriormente contaminaba directamente fuentes de agua (Cuadro 14). Pero no se determinó los efectos en el suelo de estos desechos, ni su capacidad de migración tanto horizontalmente hacia fuentes de agua superficiales, como su desplazamiento vertical hacia fuentes de agua subterránea.

Se debe tener en cuenta que sólo ocho granjas de las 40, dependen exclusivamente de la actividad porcícola. Por lo tanto, las inversiones realizadas deben ser proporcionales a su rentabilidad para que sean sostenibles económicamente. Se demostró que tanto la inversión correspondiente a la donación, como el aporte del productor son recuperables en menos de dos años, debido al ahorro generado por el uso del bio-abono y el biogás.

El biodigestor tipo tubular fue el más utilizado para el estudio. En este sistema la inversión es recuperada más rápidamente que en el caso del biodigestor de media bolsa.

No obstante este último biodigestor debió utilizarse en situaciones donde el terreno tenía niveles freáticos superficiales, suelos con alto nivel de capilaridad o muy inestables, lo que aumentó los costos.

La fluctuación en costos de los dos tipos de biodigestores asciende hasta US\$ 364 lo que en muchas ocasiones sería un factor limitante para la selección del sistema. En el caso de estudio, no fue un inconveniente ya que los materiales fueron donados al productor. Afortunadamente en la mayor parte de las fincas, los suelos presentan buenas condiciones para la instalación de biodigestores tubulares que reducen el costo, no sólo en materiales sino también de mano de obra (Anexos 4 y 6).

En el caso extremo, el costo del biodigestor ascendió a US\$ 626 partiendo del hecho que en esta unidad productiva el gasto anual por concepto de consumo de gas es de US\$ 333,61 y el gasto de fertilización por Ha es de US\$ 20,75/año. Con la utilización del bioabono y biogás, su inversión sería recuperable en un año y seis meses.

El biodigestor tubular supera el de media bolsa en cuanto a aislamiento de la materia orgánica y almacenamiento de gas; a pesar de esto también es más vulnerable a daños físicos. En resumen, la decisión de cual tipo de biodigestor utilizar depende de muchos factores incluyendo el económico.

Otro factor a tomar en cuenta al elegir el tipo de biodigestor es la alimentación; cuando los cerdos son alimentados con materia muy fibrosa como pastos o forrajes, los desechos tienden a formar una capa flotante en la superficie de la fosa de fermentación que no permite el intercambio gaseoso, lo que repercute en un descenso de la producción de biogás. En este caso por facilidad de lavado, el biodigestor media bolsa presenta la mejor alternativa. En las porquerizas intervenidas éste no fue un factor decisivo ya que los animales son alimentados casi exclusivamente con concentrados, lo que reduce el problema de formación de natas.

La organización dentro de la unidad productiva implica rigurosos controles de ingresos y egresos, volúmenes de producción, capacitaciones acordes con el tipo de producción y proyecciones en el tiempo, de tal manera que se optimicen los recursos, tanto económicos como humanos.

En general las granjas porcinas de este estudio están lejos de tener un funcionamiento óptimo. Los cambios durante el desarrollo de la investigación han sido producto de recomendaciones técnicas para el buen funcionamiento del biodigestor. La capacitación de todas las personas dentro de la unidad productiva responde a condiciones propias de la iniciativa que facilitaron el proceso.

Este tipo de capacitación constituye un aporte significativo para el conocimiento local y la disseminación de tecnologías apropiadas para ser utilizadas por productores porcinos, cuyo volumen no sobrepase los 100 animales. Prueba de la eficacia en transferencia de conocimiento es que 32 biodigestores de los instalados han servido como unidades demostrativas directas, donde se han desarrollado charlas o se han recibido grupos interesados en conocer sobre la tecnología. Los encargados de transmitir el conocimiento han sido los mismos productores y sus familias.

Por otra parte, existe dentro de los productores una deficiencia de control en su producción sobretodo en el sector financiero. Es indispensable que se realicen capacitaciones para superar estas debilidades y que las porquerizas sean más eficientes en sus funciones, mejorando así su delicada rentabilidad. También es recomendable que se fortalezca el conocimiento en cuanto a mejoramiento genético ya que cinco de las porquerizas están trabajando con cerdos criollos de baja productividad y las 35 restantes no definen líneas de cruce.

En el campo de regulación Estatal de la actividad porcina, las autoridades del Ministerio de Salud no tienen una estructura adecuada de registro y seguimiento en las 30 unidades productivas estudiadas. En las otras 10 aunque tienen conocimiento de su existencia, no se les exige todos los requisitos estipulados por el Reglamento de Vertidos y Reuso de Aguas Residuales. Para los productores el cumplir a cabalidad con todas las acciones recomendadas implicarían un aumento en los gastos de producción y en muchos casos el volumen de producción no cubriría los gastos de las pruebas de laboratorio exigidas.

Los reportes operacionales según el Reglamento de Vertidos y Reuso de Aguas Residuales (Decreto Ejecutivo N° 26042) deben presentarse cada mes ya que las porquerizas intervenidas son tipo uno donde no se superan los 50 m³/día. Pese a esto ninguna realiza dichos reportes.

Los entes reguladores de granjas porcinas también deberían aportar soluciones y ayuda técnica para que los productores de pequeña escala tengan la posibilidad de seguir produciendo de forma responsable. En este caso el ente idóneo para realizar esta labor sería el Departamento de Control Ambiental del Ministerio de Salud en coordinación con el Ministerio de Agricultura y Ganadería.

Por consiguiente debe existir un cambio social importante donde la introducción de tecnologías juega un papel importante. Pero este proceso puede crear en los usuarios recelo, desconfianza y muchas veces rechazo. Los productores de las granjas intervenidas aunque un poco cautelosos e incrédulos en la generación de gas combustible dentro de sus fincas. En su totalidad, los productores de la muestra aceptaron el instalar el biodigestor dentro de sus granjas con la consigna de recibir la ayuda técnica y parte de los materiales que se necesitaban. Es evidente por este motivo que los arraigos de producción tradicional no surgen como una barrera insalvable y más bien se le da prioridad a la ayuda externa para el costeo de la inversión inicial.

En el campo productivo existen especificaciones técnicas y nutricionales que deben seguirse según el tipo de cerdo criado dentro de una unidad productiva. Para los sujetos estudiados, la mejor alternativa es la producción de cerdos de engorde que no sobrepasen los 90 kg para maximizar las ganancias. El negocio de venta de lechones no es un norte identificado como buena alternativa para aumentar el ingreso ya que se debe disponer de cerdas de raza de alta calidad cuyo costo es muy elevado y poseer al menos un verraco que también genera un egreso considerable.

En cuanto a la infraestructura las porquerizas, aunque no diseñadas para el funcionamiento de un biodigestor, presentaban en su totalidad requisitos mínimos para la adaptación del sistema: construcción de pisos con al menos 4% de declive para facilitar el lavado, todos los drenajes conduciendo a un solo receptor y construcciones techadas.

En aspectos de salud ocupacional, dentro de las instalaciones se debe contar con al menos un teléfono en caso que ocurra un accidente laboral ya que facilita llamar a una ambulancia o médicos que puedan solventar de la mejor forma el problema, según su gravedad. Sin embargo, en el 55% de los casos esto no ocurre y dan por sentado en muchas oportunidades que el riesgo del trabajo en la porqueriza es mínimo en comparación con otras actividades que realizan dentro de la finca.

De igual forma, no se toman provisiones en cuanto al equipo completo de protección para las labores dentro de las granjas. Actividades comunes como el lavado de las porquerizas deberían contemplar como equipo mínimo botas de hule, guantes impermeables, delantal plástico y mascarillas, ya que el contenido de patógenos presentes en las excretas, podría dañar seriamente la salud. Esta iniciativa logró que 19 personas en el segundo momento de aplicado el cuestionario, utilizaban equipo completo a pesar de que les parece incomodo.

El tipo de producción que se da en las porquerizas estudiadas, aunque es culturalmente aceptable y los productores poseen mucha experiencia en la forma de producción intensiva, en sólo ocho de los casos, las familias dependen exclusivamente de la producción de cerdos; la mayoría prefiere diversificar su producción y evitar que sus fincas dependan de los precios de un solo producto.

La agricultura dentro de los productores representa el mayor complemento para contribuir con la economía del hogar, pero el tipo de agricultura sigue siendo de pequeña escala, por lo que en muchas ocasiones se practica la ganadería paralelamente.

Sólo el 6% de las personas que poseen actividades alternativas a la granja porcina ha incursionado en la acuicultura, cultivando principalmente tilapia. Este pez tiene mercado internacional, aceptación nacional y buena rentabilidad; a pesar de esto, uno de los factores limitantes para su producción es la disponibilidad de agua en cantidad y calidad, además de la alta inversión inicial.

Es evidente que la instalación de 40 biodigestores en la cuenca del río Tempisque trajo consigo muchos cambios en la forma tradicional de tratamiento de desechos dentro de las granjas intervenidas y la concientización ambiental de un 18% más de personas ajenas a la producción directa. La iniciativa ha dado paso a que en 2006 se formule un nuevo proyecto comunal en el cantón de Nicoya para poner en operación 20 unidades más.

Se sugiere que la tecnología de biodigestor se investigue más y se siga extendiendo en la cuenca, para el control de contaminación producida por ganado vacuno, ya que estos animales también contribuyen a la contaminación del medio con sus excretas y un buen comienzo en la intervención es enfocarse a la contaminación puntual que se produce en las lecherías.

Este estudio ha demostrado una vez más que el biodigestor se convierte en una alternativa tecnológica económicamente viable, socialmente aceptable y ambientalmente pertinente, por sus múltiples beneficios.

12. Referencias citadas

Abeles, Tom. "Digestores para fincas pequeñas", en *Diseño y construcción de biodigestores*, 1985 .Editorial Tecnológica de Costa Rica. Costa Rica.

Aguilar, Grettel. 1998. *Plan de acción para la cuenca del río Tempisque*. Centro Científico Tropical. Costa Rica.

Araya, José. 1984. *Producción Porcina*. Editorial Universidad Estatal a Distancia. Costa Rica.

Astorga, Yamileth. 2003. *Antología de Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas*. Editorial Universidad Estatal a Distancia. Costa Rica.

Ballester, Maureen. "El desafío del agua en Guanacaste", en *sexto informe sobre el Estado de la Nación en Desarrollo Humano Sostenible*, 1999. Costa Rica.

Botero, Raúl. 1990. *Suplementación mineral en los sistemas intensivos de producción*. EARTH. Costa Rica.

Botero, Raúl. 1997. *Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas*. EARTH. Costa Rica.

Botero, Raúl. 2000. *El Biodigestor: Tecnología sencilla y amigable con el ambiente, al alcance de todos*. EARTH. Costa Rica.

Botero, Raúl. 2001. *Guía para la instalación de un biodigestor de bajo costo*. EARTH. Costa Rica.

Campabadal, Carlos. "Utilización de la cerdaza en la alimentación de ganado de carne", en *Nutrición Animal Tropical*, 1994. Editorial de la Universidad de Costa Rica. Costa Rica.

Canessa, Edwin. "Funcionamiento básico de un biodigestor", en *Diseño y construcción de biodigestores*, 1985 .Editorial Tecnológica de Costa Rica. Costa Rica.

Carvajal, Verónica. *Contaminación fecal en aguas*. www.rincondelvago.com/contaminación-fecal-en-aguas. 2006.

Castillo, Gabriel. "Potencial de utilización del recurso bioenergético en Costa Rica", en *Diseño y construcción de biodigestores*, 1985. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Costa Rica.

Coto, Juana. "Producción microbiana, eficiencia del biodigestor aspectos relacionados", en *Diseño y construcción de biodigestores*, 1985. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Costa Rica.

Foster, Stephen. 2003. *Protección de aguas subterráneas*. Mundi-prensa. Washington, D.C.

- Geilfus, Frans. 1998. *80 herramientas para el desarrollo participativo*. EDICI, S.A. El Salvador.
- Gómez, Miguel. 2004. *Elementos de estadística descriptiva*. Editorial Universidad Estatal a Distancia. Costa Rica.
- Hernández, Roberto. 2000. *Metodología de la Investigación*. McGraw-Hill. México.
- Hong, C.M. "Utilización de desechos de cerdo por medio de fertilización anaeróbica, la experiencia de Taiwan", en *Diseño y construcción de biodigestores*, 1985. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Costa Rica.
- Indrick, Steven. "La utilidad del efluente de un biodigestor", en *Diseño y construcción de biodigestores*, 1985. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Costa Rica.
- Jiménez, Francisco. 1997. *Manejo de cuencas hidrográficas*. CATIE. Costa Rica.
- La Gaceta*. "Reglamento de Granjas Porcinas". 26-4-05.
- La Gaceta*. "Reglamento de Reúso y Vertido de Aguas Residuales". 19-6-97.
- Mandujano, Isabel. "Sistemas energéticos integrados para comunidades rurales", en *Diseño y construcción de biodigestores*, 1985. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Costa Rica.
- Mandujano, María. 1981. *Biogas, energía y fertilizante a partir de desechos orgánicos*. OLADE. México.
- Menoyo, Pablo. *Utilización de cerdaza en sistemas intensivos de producción de leche*. www.pcca.com.ve. 2004.
- Mora, Dayner. 2001. *Situación de cobertura y calidad del agua para consumo humano en Costa Rica a finales del año 2000*. AyA. Costa Rica.
- Penagos, Mario. "Desarrollo de los digestores de gas" en *Diseño y construcción de biodigestores*, 1985. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Costa Rica.
- Pound, Barry. "Producción de energía a partir de la biomasa de la caña de azúcar en República Dominicana", en *Diseño y construcción de biodigestores*, 1985. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Costa Rica.
- Ramírez, Gerardo. 1998. *Diagnóstico general de la situación actual de los recursos hídricos en la provincia de Guanacaste*. AyA. Costa Rica.
- Ramírez, Gerardo. *Manejo de excretas porcinas sistemas convencionales y alternativos*. www.engormix.com/manejo_excretas_porcinas%3Cbr%3Esisistemas_convencionales_s_articulos_375_POR. 2005

Ramsay, J. 1997. *Extensión agrícola estratégica para el desarrollo rural*. IICA. Venezuela.

Sánchez, José. *Biodigestores en Ciénaga de Zapata*. cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia27/HTML/articulo05. 2005

Santana, Amarely. "Factores que afectan la población microbiana de los biodigestores" en *Diseño y construcción de biodigestores*, 1985. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Costa Rica.

Solano, Mario. 2003. *Antología de Educación y Extensión para el Manejo de los Recursos Naturales*. Editorial Universidad Estatal a Distancia. Costa Rica.

Soria, Manuel. Producción de biofertilizante mediante biodigestión de excretas líquidas de cerdo. www.chapingo.mx/terra/contenido/19/4/art353-362. 2002

Torres, José. 1997. *Manejo integral de una cuenca hidrográfica*. Emprobio Ltda. Honduras.

Umaña, Álvaro. "Tratamiento anaeróbico de desechos agroindustriales factibilidad técnica y beneficios ambientales", en *Diseño y construcción de biodigestores*, 1985. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Costa Rica.

Warpeha, Paul. "Una visión socio-cultural de la aplicación de la tecnología del biógas" en *Diseño y construcción de biodigestores*, 1985. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Costa Rica.

Yank, L. Construcción de un biodigestor pequeño para su uso en investigación y docencia. www.arandu.org.ar/pub/digestororiginal1. 2005

13. Comunicación personal

Mena, Rafael. Técnico del Ministerio de Agricultura y Ganadería Región Chorotega. Guanacaste. 10 de Abril 2004.

14. Anexos

Anexo #1. Cuestionario

CAMBIOS AMBIENTALES, SOCIALES Y ECONÓMICOS GENERADOS POR LA IMPLEMENTACIÓN DE BIODIGESTORES EN GRANJAS PORCINAS EN LA CUENCA DEL RÍO TEMPISQUE, COSTA RICA.

1. Datos Generales

- 1.1 Fecha de aplicación del cuestionario: _____
- 1.2 Responsable de la Aplicación: *Eduardo Murillo Marchena*
- 1.3 Nombre del Productor (a): _____
- 1.4 Cantón: _____
- 1.5 Fuente de agua que está siendo afectada por los desechos de la porqueriza: _____
- 1.6 Número de integrantes del núcleo Familiar: _____
- 1.7 Número de menores de edad: _____
- 1.8 Número de personas que reciben salario: _____
- 1.9 Número de cerdos permanentes en la unidad productiva: _____
- 1.10 Número de hectáreas que componen la finca: _____

2. Administración

2.1 Obligaciones Legales

2.1.1 La unidad productiva posee los permisos de operación establecidos por ley? (permisos de salud, municipalidad, etc)

SI NO

2.1.2 Cumple con la legislación laboral del país? (salarios mínimos, libertad de organización, chequeo de planilla de empleados, etc.)

SI NO

2.1.3 La unidad productiva posee seguros de las personas que laboran en ella?

SI NO

2.2 Recurso Humano

2.2.1 El personal dentro de la unidad productiva es suficiente para alcanzar tener buenas condiciones de producción?

SI NO

2.2.2 Se distribuyen adecuadamente las labores dentro de la unidad productiva entre los empleados o familiares?

SI NO

2.2.3 Existen acciones de capacitación entre las personas que trabajan dentro de la finca?

SI Cuáles? _____ NO

3. Organización de la Unidad Productiva

3.1 La unidad productiva tiene una meta para el crecimiento o mantenimiento de la producción?

SI NO

3.2 La finca ha servido como unidad demostrativa dentro de la comunidad?

SI NO

4. Aspectos Productivos

4.1 Se utilizan productos químicos para la desinfección de las porquerizas?

SI NO

4.2 Se conoce algún tipo de abono orgánico?(Si la respuesta es no, pasa a la pregunta 4.4)

SI Cuáles? _____ NO

4.3 Se utilizan estos abonos orgánicos dentro de la unidad productiva?

SI Cuáles? _____ NO

4.4 Se realiza algún tipo de análisis microbiológico que permita evidenciar el nivel de contaminación que aporta la porqueriza?

SI NO

4.5 Se utilizan productos amigables con el ambiente para la desinfección de las porquerizas?

SI Cuáles? _____ NO

5. Uso de Tecnología

5.1 Se utiliza algún tipo de tecnología para la estabilización de desechos producidos por las porquerizas?

SI NO

5.2 En la unidad productiva se sabe lo que es un biodigestor ? (si la respuesta es no, pasar a la pregunta 5.4)

SI NO

5.3 Alguien dentro de la finca conoce sobre el funcionamiento del biodigestor?

SI Quién? _____ NO

5.4 Después de saber lo que es un biodigestor, se estaría dispuesto a utilizar uno en la unidad productiva?

SI NO

5.5 La unidad productiva es diversificada? (posee otra actividad adicional a la porqueriza?)

SI Cuál? _____ NO

6. Infraestructura

6.1 El espacio de la planta física es suficiente para la cantidad de animales que posee la unidad productiva?

SI NO Cuál es la deficiencia? _____

6.2 El diseño de la unidad productiva se ajusta a los requerimientos para la instalación de un biodigestor?

SI NO

7. Seguridad e Higiene

7.1 Se cuenta con un teléfono para casos de emergencia tanto de los trabajadores, como de daños a la infraestructura?

7.2 Las instalaciones de las porquerizas se limpian diariamente?

SI NO

8. Equipo de Protección

8.1 Las personas que laboran en la unidad productiva disponen de equipo de protección y lo utiliza? (guantes, botas de hule)

SI NO

9. Aspectos de Comercialización

9.1 La unidad productiva cuenta con demandantes fijos de su producto?

SI NO

9.2 Se tiene definida la demanda potencial del producto?

SI NO

10. Controles Financieros

10.1 En la unidad productiva se calculan los costos de producción?

SI NO

10.2 Se conoce el volumen de producción anual?

SI NO

10.3 Los precios del producto cubre los costos de operación?

SI NO

10.4 Los precios de los productos generan utilidades?

SI NO

11. Aspectos Ambientales

11.1 Manejo de Aguas

11.1.1 Dentro de la unidad productiva las personas son concientes de que los desechos de la producción afectan las fuentes de agua ?

SI NO

11.1.2 El agua utilizada para el lavado de la porqueriza es adecuada para ser usada en el biodigestor ?

SI NO

11.1.3 Se ejecuta algún plan de ahorro de agua?

SI NO

11.1.4 Se posee registro de consumo?

SI NO

11.2 Manejo de Desechos Sólidos

11.2.1 Existe en la unidad productiva caracterización de los desechos?

SI NO

11.2.2 Se le da tratamiento adecuado a los desechos orgánicos?

SI NO

11.3 Utilización de la Energía

11.3.1 Se cuenta con un plan de ahorro de energía ?

SI NO

11.3.2 Se cuenta con un registro de consumo?

SI NO

11.3.3 En la finca se utiliza algún tipo de energía alternativa e innovadora ?

SI NO

12. Equidad de Género

12.1 Las decisiones de la unidad productiva son tomadas colectivamente por el grupo familiar o asociados?

SI NO

12.2 Las mujeres dentro de la actividad productiva tienen poder de decisión?

SI NO

12.3 Las mujeres que laboran dentro de la unidad productiva tienen resuelto el cuidado de los hijos?

SI NO

12.4 Cuando se dan capacitaciones, todos los miembros de la familia o trabajadores que participan en la producción son tomados en cuenta?

SI NO

12.5 Las ganancias de la unidad productiva son distribuidas adecuadamente entre los socios y trabajadores?

SI NO

Anexo 2. Conducción y deposición de desechos



Fotos 1 y 2. Finca del señor Rigoberto Alvarado, Cañas Guanacaste. Cambio del sistema tradicional de conducción de las aguas de lavado en granjas porcinas. (2005)



Foto 3. Finca del señor Rigoberto Alvarado, Cañas Guanacaste. Disposición tradicional de desechos provenientes de las porquerizas. (2005)

Anexo 3. Biodigestor tubular



Foto 1. Finca del señor Wilbert Alvarado, Bagaces. Biodigestor de 12 metros lineales.

Uso del gas: limpieza de utensilios de lechería, pasteurización de la leche y cocción de alimentos.

Uso del Bioábono: Pastos.

(2005)



Foto 2. Efluente del biodigestor utilizado como bioabono dentro de las unidades productivas. (2005)

Anexo 4. Costo promedio de biodigestor tubular (cinco metros)

Material	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Arandelas Plásticas	Unidad	2	2,074688797	4,149377593
Codos Sanitarios 3"	Unidad	3	2,489626556	7,468879668
Codos 12 mm	Unidad	3	0,124481328	0,373443983
Tee 25 mm	Unidad	2	0,248962656	0,497925311
Llave de paso 25 mm	Unidad	2	1,970954357	3,941908714
Llave de paso 12 mm	Unidad	1	1,078838174	1,078838174
Adaptador Macho 25 mm	Unidad	3	0,331950207	0,995850622
Adaptador Hembra 25 mm	Unidad	4	0,334024896	1,336099585
Tubo PVC 1"	Unidad	1	4,045643154	4,045643154
Tubo PVC 1/2"	Unidad	1	3,605809129	3,605809129
Niple de Tubo PVC 2"	Unidad	2	1,394190871	2,788381743
Rollo de Poliducto 1"	Unidad	1	19,70954357	19,70954357
Tubo PVC 3"	Unidad	2	11,09958506	22,19917012
Pegamento PVC	Unidad	1	1,342323651	1,342323651
Masquin Tape	Unidad	1	0,414937759	0,414937759
Silicon	Unidad	1	1,348547718	1,348547718
Teflon	Unidad	1	0,228215768	0,228215768
Reducción Lisa 25-12	Unidad	2	0,2593361	0,518672199
Unión de 2"	Unidad	2	0,674273859	1,348547718
Unión de PVC a Poliducto	Unidad	2	0,228215768	0,456431535
Reducción 2" a 1"	Unidad	2	0,796680498	1,593360996
Tapón Hembra 1"	Unidad	1	0,414937759	0,414937759
Manguera de Gas (3 m)	Metros	3	0,290456432	0,871369295
Alcantarillas de Concreto	Unidad	2	3,562945368	7,125890736
Gasas Metálicas	Unidad	2	0,29253112	0,585062241
Block	Unidad	16	0,394190871	6,307053942
Cemento	Unidad	1	6,43153527	6,43153527
Brillo de Acero	Unidad	2	0,497925311	0,995850622
Carbon (Una porción)	Porción	0,1	1,244813278	0,124481328
Plástico	Metros	18	2,385892116	42,94605809
			Total =	145,2
Materiales para la protección del biodigestor				
Material	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Postes Madera	Unidad	4	7,261410788	29,04564315
Artesones Madera	Metro	6	1,390041494	8,340248963
Arena	Porción	3	2,813278008	8,439834025
Piedra	Porción	3	2,109958506	6,329875519
Clavo 4'	Kg	1	1,058091286	1,058091286
Cedaso	Metro	15	1,203319502	18,04979253
Grapa	Kg	0,5	3,112033195	1,556016598
Clavo 1'	Kg	1	1,452282158	1,452282158
Zing Largo	Unidad	9	8,817427386	79,35684647
			Total=	153,6
Aporte Mano de Obra Productor	Costo U.S. (\$)			
Mano de Obra	12			
Nota: Considera 3 días de trabajo				
Costo Total de la Obra U.S. (\$)				
311				
Tipo de Cambio 482 colones/dólar				

Anexo 5.
Biodigestor media bolsa



Foto 1. Finca del señor Felipe Chávez, Abangares. Biodigestor de 3 metros lineales.
Uso del gas: Cocción de alimentos.
Uso del Bioábono: Pastos de Corta.

Anexo 6. Costo promedio de biodigestor media bolsa (cinco metros)

Material	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Arandelas Plásticas	Unidad	2	2,074688797	4,149377593
Codos Sanitarios 3"	Unidad	3	2,489626556	7,468879668
Codos 12 mm	Unidad	3	0,124481328	0,373443983
Tee 25 mm	Unidad	2	0,248962656	0,497925311
Llave de paso 25 mm	Unidad	2	1,970954357	3,941908714
Llave de paso 12 mm	Unidad	1	1,078838174	1,078838174
Adaptador Macho 25 mm	Unidad	4	0,331950207	1,32780083
Adaptador Hembra 25 mm	Unidad	4	0,334024896	1,336099585
Tubo PVC 1"	Unidad	4	4,045643154	16,18257261
Tubo PVC 1/2"	Unidad	1	3,605809129	3,605809129
Niple de Tubo PVC 2"	Unidad	2	1,394190871	2,788381743
Rollo de Poliducto 1"	Unidad	1	19,70954357	19,70954357
Tubo PVC 3"	Unidad	2	11,09958506	22,19917012
Pegamento PVC	Unidad	1	1,342323651	1,342323651
Masquin Tape	Unidad	1	0,414937759	0,414937759
Silicon	Unidad	1	1,348547718	1,348547718
Teflon	Unidad	1	0,228215768	0,228215768
Reducción Lisa 25-12	Unidad	2	0,2593361	0,518672199
Unión de 2"	Unidad	2	0,674273859	1,348547718
Unión de PVC a Poliducto	Unidad	2	0,228215768	0,456431535
Reducción 2" a 1"	Unidad	2	0,796680498	1,593360996
Tapón Hembra 1"	Unidad	1	0,414937759	0,414937759
Manguera de Gas (3 m)	Metros	3	0,290456432	0,871369295
Alcantarillas de Concreto	Unidad	2	3,562945368	7,125890736
Gasas Metálicas	Unidad	2	0,29253112	0,585062241
Block	Unidad	200	0,394190871	78,83817427
Cemento	Unidad	10	6,43153527	64,3153527
Varilla 3/8	Unidad	35	1,970954357	68,98340249
Varilla 1/4	Unidad	9	1,556016598	14,00414938
Brillo de Acero	Unidad	2	0,497925311	0,995850622
Carbon (Una porción)	Porción	0,1	1,244813278	0,124481328
Plástico	Metros	7	2,385892116	16,70124481
				Total = 344,870704
Costo de materiales para protección del biodigestor				
Material	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Postes Madera	Unidad	6	7,261410788	43,56846473
Artesones Madera	Metro	8	1,390041494	11,12033195
Arena	Metro	1,5	15,56016598	23,34024896
Piedra	Metro	1,5	15,56016598	23,34024896
Clavo 4'	Kg	1	1,058091286	1,058091286
Cedaso	Metro	20	1,203319502	24,06639004
Grapa	Kg	0,5	3,112033195	1,556016598
Clavo 1'	Kg	1	1,452282158	1,452282158
Zing Largo	Unidad	9	8,817427386	79,35684647
				Total= 209
Aporte Mano de Obra Productor		Costo U.S. (\$)		
Mano de Obra			62	
Nota: Considera 6 días de trabajo especializado				
Costo Total de la Obra U.S. (\$)				
616				
Tipo de Cambio 482 colones/dólar				

Anexo 7. Reporte de análisis de laboratorio DBO_{5,20} y Coliformes fecales y totales