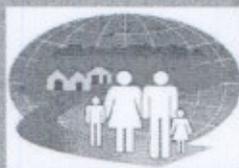


102560



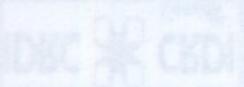
**Proyecto Aldea Global**

**Proyecto de Investigación para el Desarrollo - PRIDE**

**INVESTIGACIÓN:**

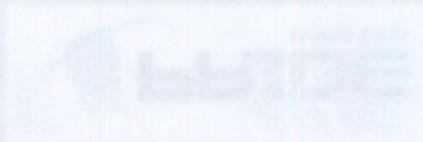
**MANEJO BIOLÓGICO INTEGRADO DE  
PULPA DE CAFÉ Y AGUAS MIELES  
EN EL PANACAM**





Centro de Investigación y  
 Desarrollo Científico y Tecnológico  
 Universidad de Chile

Proyecto de Investigación para el Desarrollo - PIDDE  
 Proyecto video sobre



105290

### **Equipo Investigador**

Ing. Carlos Alberto Perdomo Navarro<sup>1</sup>

Ing. Francisco Oseguera<sup>2</sup>

Daniel Brooks y David Egetter<sup>3</sup>

Yannick Cabassu<sup>4</sup>

Este trabajo se llevó a cabo con la ayuda de fondos asignados por el Centro  
Internacional de Investigación para el Desarrollo, Ottawa, Canadá.

### **Revisión del Documento:**

Ing. Marlon Pineda<sup>5</sup>

Parque Nacional Cerro Azul Meambar (PANACAM)

Proyecto Aldea Global

Teléfono: 773-2027, 2029, 239-8400

Correo electrónico: [carlospardomo\\_otoro@yahoo.es](mailto:carlospardomo_otoro@yahoo.es)

---

<sup>1</sup> Coordinador Programa Desarrollo Sostenible de PANACAM,

<sup>2</sup> Instituto Hondureño del Café (IHCAFE)

<sup>3</sup> Voluntarios de Cuerpo de Paz

<sup>4</sup> Voluntario ONG Canadiense CUSO

<sup>5</sup> Coordinador Programa PRIDE.

Equipo Investigador

Ing. Carlos Alberto Pedraza Navarro

Ing. Francisco Oquendo

Daniel Brooke y David Eggleston

Yannick Colasse

*Este trabajo se llevó a cabo con la ayuda de fondos asignados por el Centro Internacional de Investigación para el Desarrollo, Ottawa, Canadá.*

Revisión del Documento:  
Ing. Néstor Prieto

Parque Nacional Cordillera Azul (PANAACAZA)  
Proyecto Aída Global  
Teléfono: 773-3027, 3028, 308-8400  
Correo electrónico: [cordillera@pnanacaza.gob.gt](mailto:cordillera@pnanacaza.gob.gt)

© 2008, Programa Operativo de Desarrollo de PANAACAZA  
© 2008, Ministerio de Cultura (MINECULT)  
© 2008, Ministerio de Turismo (MINTUR)  
© 2008, Ministerio de Recursos Ambientales (MIRA)  
© 2008, Programa Operativo PODE

## RESUMEN

Esta experiencia de investigación fue desarrollada por la ONG Proyecto Aldea Global, en coordinación con el Instituto Hondureño del Café (IHCAFE), Cuerpo de Paz y la ONG Canadiense CUSO. En el Parque Nacional Cerro Azul Meámbar (PANACAM), Honduras, Centro América; con financiamiento y monitoreo del Programa de Investigación para el Desarrollo (PRIDE).

El objetivo de este trabajo fue evaluar el tratamiento para la descomposición acelerada de pulpa de café (menos de 45 días) usando Microorganismos en tres tratamientos distintos: **(N°1) Microorganismos Eficientes (EM)**, misma que fue desarrollada en la década de los ochentas por el Dr. Teruo Higa profesor de horticultura de la Universidad de Ryukyus en Okinawa, Japón; **(N° 2) Mezcla de productos** (levaduras, arroz, yogurt, melaza, suero de leche de vaca y tierra negra) y **(N° 3) Mezcla de productos fermentados** (Jugo de caña, maíz, arroz, suero de leche de vaca y tierra negra). Estos productos se incorporaron directamente a la pulpa de café, cada tres días y removiendo la pulpa para lograr mayor uniformidad en la descomposición a través de la aireación.

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios desde el punto de vista de la celeridad de descomposición, el tratamiento **(N°1) EM** logró una descomposición estimada de alrededor de 83% de la pulpa en un período de treinta días, mientras que para el mismo período de tiempo, el tratamiento con la mezcla de productos **(N° 2)**, la descomposición se estimó en un 60%, y de un 65% para el tratamiento **(N° 3)** respectivamente; por su parte el testigo reflejó una descomposición de alrededor de un 45%. Un aspecto muy importante es que en ninguno de los tres tratamientos existió proliferación de moscas, ni emanación de olores desagradables, que es un problema social y ambiental importante en las zonas cafetaleras.

La segunda fase de la investigación se dirigió al tratamiento de aguas mieles provenientes del primero y segundo lavado del café, que junto a la pulpa se constituyen en uno de los mayores contaminantes de las fuentes de agua en Honduras, especialmente en las regiones montañosas que son precisamente las zonas productoras de agua. Para esta fase se utilizó la tecnología de biodigestores tipo Taiwan, combinadas con pequeñas pilas de tratamiento. Además, de las aguas mieles se realizó tratamiento con la misma tecnología a estiércoles de vaca, cerdo e incluyendo heces humanas. De esta forma se logró conocer el potencial de los biodigestores no solo para la producción de biogás útil en diferentes actividades domésticas, sino también en la efectividad de tratamiento de aguas residuales para reducir el impacto en los niveles de contaminación provenientes de estas fuentes. Este proceso fue el más atractivo en las comunidades por la producción de biogás usando desechos contaminantes provenientes de las fincas y su uso diario en las cocinas.

**ABSTRACT**

This investigation was developed by NGO Proyecto Aldea Global, in coordination with the Honduran Coffee Institute (IHCAFE), the Peace Crops and Canadian NGO CUSO and in the National Park Cerro Azul Meambar (PANACAM), Honduras, Centro América; with financing and monitoring of the Investigation Program for Development (PRIDE).

The objective of this work was to evaluate the treatment for the accelerated decomposition of coffee pulp (less than 45 days), using microorganisms in three distinct treatments: **No. 1 - Efficient Microorganisms (EM)** The EM technology was developed in the 1980s by Dr. Teruo Higa, Professor of horticulture in the university of Ryujyus in Okinawa, Japan. **No. 2 - Mixing of Products** (yeast, rice, yogurt, molasses, milk whey (bovine), and black earth) and **No. 3 - Mixing of Fermented Products** (sugar cane juice, corn, rice, milk whey (bovine), and black earth). These products were directly incorporated in the coffee pulp every three days and the pulp was removed to achieve greater uniformity in the decomposition through aeration.

The results obtained are satisfactory from the standpoint of the velocity of the decomposition process. The treatment (**N°1**) EM achieved a decomposition estimated around 83% of the pulp in a period of 30 days. Using the same time period, the treatment (**N°2**) the mix of products resulted in an estimated decomposition of 60%. The treatment (**N°3**) for the mix of fermented products was 65% and the evidence reflects decomposition around 45%. An important aspect to note is that in none of the three treatments existed a proliferation of flies nor an emanation of unpleasant odors, which is an important social and environmental problem in the coffee zones.

The second phase of the investigation was directed at the treatment of coffee sap (the residue of the coffee pulp) proceeding from the first and second washings of coffee, which together with the pulp constitutes one of the highest contaminants of water sources in Honduras, especially in the mountainous zones which are precisely the water production zones. For this phase, the bio-digester technology (Taiwan type) was used, combined with small treatment basins. In addition, with respect to the coffee sap, treatment was completed with the same technology of cow, pig and human feces. With this form, we have achieved to understand the potential of bio-digesters not only for the production of biogas, which is useful in different domestic activities, but also in the effective treatment of water residuals to reduce the impact in the contamination levels proceeding from these sources. This process was most attractive in communities for the production of biogas, using residual contaminants proceeding from the farms and used daily in the kitchen.

PAGINA	TABLA DE CONTENIDO	CONTENIDO
		RESUMEN
		ABSTRACT
		AGRADECIMIENTO
		CAPITULO I
9		Introducción
10		Justificación
11		Objetivos
	<b>AGRADECIMIENTOS</b>	Objetivo General
		Objetivos específicos
13		Revisión de literatura
13		Microbiología del compostaje
13		Microbiología de la descomposición de desechos líquidos
13		Tecnología de Microorganismos Estrictos (EM)
13		Tecnología de Biorreactores
13		Parámetros de un biorreactor
		CAPITULO II
		Metodología de Estudio
17		Selección de los sitios de experimentación
		Áreas de producción comerciales
		Áreas con productos locales
		CAPITULO III
		Descripción de la zona de café
23		Análisis químico de bioresaca
24		Costos por tratamiento
25		Tratamiento de aguas mieles usando tecnología de biorreactores
28		Producción de metano
28		Análisis químico de líquidos orgánicos y efluentes de biorreactores
		CAPITULO IV
		Conclusiones
30		Recomendaciones
34		Bibliografía

El equipo investigador agradece A:

Programa de investigación para el Desarrollo (PRIDE), por la confianza, apoyo técnico y especialmente apoyo financiero para realizar la investigación.

Instituto Hondureño del Café (IHCAFE), especialmente al Centro de Investigación Jesús Aguilar Paz, por facilitar el centro para el desarrollo de la investigación y el involucramiento del personal del IHCAFE en el seguimiento de todo el proceso.

Familias que permitieron la instalación de los ensayos y aportaron la mano de obra inicial y el posterior seguimiento hasta el funcionamiento de los mismos.

Proyecto Aldea Global, por permitir la apertura para desarrollar investigación, un área desconocida en su labor de desarrollo como ONG.

## TABLA DE CONTENIDO

<u>CONTENIDO</u>	<u>PAGINA</u>
RESUMEN	
ABSTRACT	
AGRADECIMIENTO	
CAPITULO I	
Introducción	9
Justificación	10
Objetivos	11
Objetivo General	
Objetivos específicos	
Revisión de literatura	12
Microbiología del compostaje	12
Microbiología de la descomposición de desechos líquidos	12
Tecnología de Microorganismos Eficientes (EM)	12
Tecnología de Biodigestores	14
Beneficios de un biodigestor	15
CAPITULO II	
Metodología de Estudio	
Selección de los sitios de experimentación	17
Tratamientos desarrollados para el manejo de pulpa	18
Microorganismos Eficientes (EM)	
Mezcla de productos comerciales	
Mezcla con productos locales	
Tratamiento de aguas mieles	18
CAPITULO III	
Resultados y discusión	
Descomposición de pulpa de café	21
Análisis químico de bioabono	23
Costos por tratamiento	24
Tratamiento de aguas mieles usando tecnología de biodigestores	25
Producción de metano	25
Análisis químico de líquido entradas y salidas de biodigestores	26
CAPITULO IV	
Conclusiones	33
Recomendaciones	34
Bibliografía	35

## INDICE DE TABLAS

<u>CONTENIDO</u>	<u>PAGINA</u>	
Tabla N° 1	Análisis químico de bioabono	23
Tabla N° 2	Costos por tratamiento de quintal de pulpa	24

## INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1	Tratamiento de pulpa de café con lombricompost	10
Figura N° 2	Acumulación de pulpa bajo techo en beneficio de cooperativa	10
Figura N° 3	Proceso de funcionamiento de un biodigestor	14
Figura N° 4	Modelos de biodigestores más utilizados en el mundo	15
Figura N° 5	Componentes de un biodigestor tipo Chino	17
Figura N° 6	Mapa de ubicación de la zona del estudio	17
Figura N° 7	Instalación de polietileno tipo Taiwan	19
Figura N° 8	Sistema completo con biodigestor y pilas para tratamiento de aguas mieles	19
Figura N° 9	Letrina instalada directamente al biodigestor	20
Figura N° 10	Labor de carga diaria de biodigestor	20
Figura N° 11	Croquis de biodigestor y los puntos de muestreo	20
Figura N° 12	Descomposición de pulpa de café en un periodo de 30 días	21
Figura N° 13	Apariencia física de la pulpa de café a los 30 días usando EM	22
Figura N° 14	Apariencia física de la pulpa de café a los 30 días	22
Figura N° 15	Color de la flama usando biogás	26
Figura N° 16	Estufa rustica diseñada para uso con biogás	26
Análisis químicos de entradas y salidas de los biodigestores		
Figura N° 17	Sólidos sedimentables	27
Figura N° 18	Sólidos Totales	28
Figura N° 19	Sólidos suspendidos	28
Figura N° 20	Sólidos disueltos totales	29
Figura N° 21	pH	29
Figura N° 22	Turbidez	30
Figura N° 23	Conductividad	30
Figura N° 24	Salinidad	31
Figura N° 25	Dureza	31
Figura N° 26	Demanda química de oxígeno (DQO)	32
Figura N° 27	Demanda biológica de oxígeno (DBO)	32

## CAPITULO I

PAGINA	CONTENIDO
23	Análisis químico de biosfera
24	Costes por tratamiento de pulpa de paja
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	
10	Tratamiento de pulpa de café con formol
10	Adaptación de pulpa de café a procesos de coprocesos
14	Proceso de funcionamiento de un biogas
15	Modelos de investigadores más utilizados en el mundo
17	Componentes de un biogas tipo China
17	Mapa de ubicación de la zona del estudio

### Introducción

La generación constante de conocimientos a través de la historia ha hecho posible el mejoramiento de la calidad de vida de las personas y aquellas sociedades que han apostado a la investigación de nuevas tecnologías, son ahora las potencias mundiales líderes en desarrollo socioeconómico, con mucha razón se dice *"El que tiene el conocimiento tiene el PODER"* y Honduras es uno de los países donde menos importancia se le ha brindado a la investigación a lo largo de la historia.

Es imprescindible que se unan esfuerzos tanto del gobierno, empresa privada y sociedad civil, para fortalecer iniciativas como el Programa de Investigación para el Desarrollo (PRIDE), que en su primera experiencia ha sido muy exitoso, con una alta eficiencia y eficacia de intervención, por el desarrollo de conocimientos en un lapso de tiempo relativamente corto.

El presente trabajo es una investigación que se orientó a generar alternativas viables para tratar la pulpa y aguas mieles del café a pequeña, mediana y gran escala, removiendo y degradando los contaminantes orgánicos presentes, a través de procesos biológicos que logren la generación de subproductos con utilidad o beneficio para las familias productoras.

Esta experiencia se desarrolló en el sector del Parque Nacional Cerro Azul Meámbar (PANACAM), con el esfuerzo mancomunado de Proyecto Aldea Global (PAG) en su condición de coordinador, Instituto Hondureño del Café (IHCAFE), Cuerpo de Paz y la ONG Canadiense CUSO, bajo el financiamiento y monitoreo del Programa de Investigación para el Desarrollo (PRIDE).

## Justificación

El cultivo de café se realiza en 15 de los 18 departamentos del país, se desarrolla en un rango promedio de altitud de los 600 a 1500 metros sobre el nivel del mar (msnm). En la actualidad, el área sembrada con café supera las 350,000 Mz, en todo el país, con una producción promedio de 14 quintales (qq) / Mz de café oro. El Parque Nacional Cerro Azul Meámbar (PANACAM), una de las áreas protegidas del país de mayor importancia por la vinculación directa con el Lago de Yojoa y la represa hidroeléctrica Francisco Morazán, no es la excepción y el café es el principal cultivo cubriendo 2,610 Mz, con 648 productores (IHCAFE registros cosecha 2004 – 2005) en la zona de amortiguamiento y constituye una fuerte amenaza de avance hacia la zona núcleo.

Si bien es cierto, el cultivo de café como sistema agroforestal por su forma multiestratificada con alta diversidad, es útil para mantener la armonía, estabilidad y equilibrio ambiental y de todas las prácticas de cultivos que se realizan actualmente en el PANACAM, consideramos que es la mejor. Sin embargo, el problema radica en la época de la cosecha y especialmente durante el beneficiado. Según el IHCAFE, en la cosecha 2004 – 2005 en el PANACAM, se beneficiaron 25,685 qq de café oro; generando 51,363 qq de pulpa de café y alrededor de 65,000 m<sup>3</sup> de aguas mieles, un fuerte contaminante de las fuentes de agua, que en éste caso particular finalizan contaminando el único lago natural del país el Lago de Yojoa, al cual llega el 70% del agua del PANACAM, un 20% drena hacia el embalse artificial Francisco Morazán y se estima un consumo humano en actividades domésticas y agropecuarias de un 10% aproximadamente (Plan de Manejo PANACAM 2001 – 2006).

El café maduro presenta una composición en la cual el grano, que es la parte aprovechable para el proceso, representa el 20% del volumen total de la fruta, de manera tal que, el procesamiento de beneficiado genera un 80% del volumen procesado en calidad de desechos, cada uno en un grado diferente constituye un riesgo para el medio ambiente si no se reutiliza de una manera inteligente. Pero existe otro subproducto generado por el proceso de beneficiado del café oro que es el agua residual.

En Honduras actualmente existen alternativas que se han desarrollado para el manejo de los desechos de la actividad cafetalera en pequeña escala, tal es el caso de la lombricompost, que produce un excelente abono orgánico, considerándose uno de los mejores, porque incrementa la disponibilidad de nutrientes para las plantas hasta en 10 veces más, si se compara con un proceso normal de descomposición de la materia orgánica

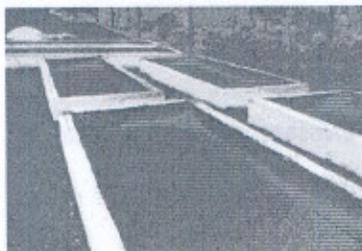


Figura N° 1. Tratamiento de pulpa de café con lombricompost. Centro de Investigación La Fe, Ilama, IHCAFE. 2008

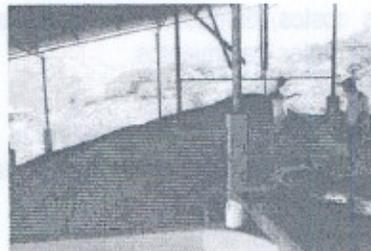


Figura N° 2. Acumulación de pulpa bajo techo en beneficio de cooperativa. Peña Blanca, Cortés

Otra alternativa importante es la elaboración de compostaje para la producción de abono orgánico, especialmente a través del proceso de Bocashi, abono de muy buena calidad, pero con la limitante del alto costo de elaboración por mano de obra y por la dependencia del uso de materiales externos a la finca. Sin embargo, estos tratamientos no han sido alternativa para productores que generan más de 50 qq de pulpa diaria por el gran volumen a tratar.

Similar situación se presenta para el tratamiento de aguas mieles con las lagunas de oxidación que requieren grandes áreas para realizar eficazmente el tratamiento de las aguas mieles antes de ser vertidas a una fuente de agua. En éste caso una importante limitante son las fuertes pendientes que predominan en las zonas cafetaleras, donde se requiere hacer grandes movimientos de suelos generando adicionalmente una mayor erosión. Las lagunas de oxidación también presentan problemas de contaminación al manto freático, emanación de olores desagradables y el riesgo de desbordamiento que causaría una mayor contaminación por la concentración de desechos que contiene.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Generar alternativas viables para tratar la pulpa y aguas mieles del café a pequeña, mediana y gran escala, removiendo y degradando los contaminantes orgánicos presentes, a través de procesos biológicos que logren la generación de subproductos con utilidad o beneficio para las familias productoras.

### **Objetivos Específicos**

Utilizar la tecnología de Microorganismos Eficientes (EM) para lograr la descomposición de la pulpa de café y aguas mieles disminuyendo tiempos, volúmenes y costos para el productor.

Contribuir a la generación de subproductos (biogás, abono orgánicos sólidos y líquidos) útiles para las familias cafetaleras a partir de desechos contaminantes para nuestros ecosistemas.

Formular 2 mezclas de productos orgánicos locales fundamentados en la microbiología para la descomposición de los desechos del café, como alternativa a pequeños productores.

Definir y comparar los costos, tiempos y resultados a nivel de laboratorio de la calidad de los subproductos, de los diferentes tratamientos,

Integrar a cinco familias productoras de café en el proceso de investigación para facilitar la validación, socialización y retroalimentación de los resultados.

## **Revisión de Literatura**

### **Microbiología del compostaje**

"El proceso de compostaje está gobernado por la acción de microorganismos aerobios facultativos y obligados, mesófilos y termófilos, según la temperatura dominante. Hasta ahora, han sido estudiadas más de 70 especies de microorganismos destacándose los grupos de, actinomicetos termófilos, bacterias mesófilas y termófilas, y hongos mesófilos y termófilos, degradando compuestos como hemicelulosa, celulosa, proteínas y carbohidratos" (Luque, 1997; Tchobanoglous et al, 1994).

En las tesis de Climent (1996) y Soto (2003), se menciona que, las bacterias se descomponen fundamentalmente en carbohidratos y proteínas (10 - 20 % de la descomposición), mientras que los hongos y los actinomicetos (del 15-30% de la descomposición) actúan preferencialmente sobre celulosas y hemicelulosas.

### **Microbiología de la descomposición de desechos líquidos y sólidos**

La oxidación de la materia orgánica contenida en el agua se efectúa por medio de una microflora de bacterias que se alimentan de la materia y consumen el oxígeno disuelto en el agua. En caso de descargas importantes de materia como es el caso del vertido de aguas mieles, provocan el agotamiento del oxígeno, proceso conocido como anaerobiosis, y se destruye por asfixia la fauna y flora acuática: peces cangrejos, microorganismos y plantas diversas de los ríos y lagos.

### **Tecnología de Microorganismos Eficientes (EM)**

Fue desarrollada en la década de los ochentas por el Dr. Teruo Higa profesor de horticultura de la Universidad de Ryukyus en Okinawa, Japón. Esta tecnología ha sido desarrollada y aplicada a una multitud de usos agropecuarios y ambientales, siendo utilizada en más de 80 países.

Estudiando las funciones individuales de diferentes microorganismos, encontró que el éxito de su efecto potencializador estaba en su mezcla. Los microorganismos eficientes o EM son una combinación de microorganismos beneficiosos de origen natural, que se han utilizado tradicionalmente en la alimentación, o que se encuentran en los mismos. Contiene principalmente organismos beneficiosos de cuatro géneros principales: Bacterias fototróficas, Levaduras, Bacterias productoras de ácido láctico y Hongos de fermentación. Estos microorganismos efectivos cuando entran en contacto con materia orgánica secretan sustancias beneficiosas como vitaminas, ácidos orgánicos, minerales quelatados y fundamentalmente sustancias antioxidantes.

Además mediante su acción cambian la micro y macroflora de los suelos, y mejoran el equilibrio natural, de manera que los suelos causantes de enfermedades se conviertan en suelos supresores de enfermedades, y ésta se transforme a su vez en suelo azimógeno. A través de los efectos antioxidantes promueven la descomposición de la materia orgánica y aumentan el contenido de humus.

El EM viene únicamente en forma líquida y contiene microorganismos útiles y seguros. No es un fertilizante, ni un químico, no es sintético y no ha sido modificado genéticamente. Este se utiliza junto con la materia orgánica para enriquecer los suelos y para mejorar la flora y la labranza. Dichos microorganismos se encuentran en estado latente y por lo tanto se utiliza para hacer otros productos secundarios de microorganismos eficientes. Hurtado (2001)

## **Modo de acción de los EM**

Los microorganismos eficientes actúan de manera que toman sustancias generadas por otros organismos basando en ello su funcionamiento y desarrollo. Las raíces de las plantas secretan sustancias que son utilizadas por los microorganismos eficientes para crecer, sintetizando aminoácidos, ácidos nucleicos, vitaminas, hormonas y otras sustancias bioactivas.

Cuando los microorganismos eficientes incrementan su población, como una comunidad en el medio en que se encuentran, se incrementa la actividad de los microorganismos naturales, enriqueciendo la microflora, balanceando los ecosistemas microbiales, suprimiendo microorganismos patógenos.

## **Tipos de microorganismos presentes**

### **1) Bacterias Fototróficas**

Son bacterias autótrofas que sintetizan sustancias útiles a partir de secreciones de raíces, materia orgánica y gases dañinos, usando la luz solar y el calor del suelo como fuentes de energía. Las sustancias sintetizadas comprenden aminoácidos, ácidos nucleicos, sustancias bioactivas y azúcares, promoviendo el crecimiento y desarrollo de las plantas. Los metabolitos son absorbidos directamente por ellas, y actúan como sustrato para incrementar la población de otros microorganismos eficientes.

### **2) Bacterias Ácido Lácticas**

Estas bacterias producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos sintetizados por bacterias fototróficas y levaduras. El ácido láctico es un fuerte esterilizador, suprime microorganismos patógenos e incrementa la rápida descomposición de materia orgánica. Las bacterias ácido lácticas aumentan la fragmentación de los componentes de la materia orgánica, como la lignina y la celulosa, transformando esos materiales sin causar influencias negativas en el proceso.

### **3) Levaduras**

Estos microorganismos sintetizan sustancias antimicrobiales y útiles para el crecimiento de las plantas a partir de aminoácidos y azúcares secretados por bacterias fototróficas, materia orgánica y raíces de las plantas. Las sustancias bioactivas, como hormonas y enzimas, producidas por las levaduras, promueven la división celular activa. Sus secreciones son sustratos útiles para microorganismos eficientes como bacterias ácido lácticas y actinomiceto. Ana Biosca (Diciembre 2001)

### Efectos del EM sobre los cultivos

Los microorganismos eficientes, como inoculante microbiano, restablece el equilibrio microbiológico del suelo, mejorando sus condiciones físico-químicas, incrementando la producción de los cultivos y su protección; además conserva los recursos naturales, generando una agricultura sostenible.

### TECNOLOGIA DE BIODIGESTORES

La tecnología de biodigestores fue desarrollada en los países asiáticos hace más de 200 años y eso explica porque en éste continente es donde mayor experiencia existe, estimaciones de organismos internacionales de cooperación, reportan de forma aproximada las siguientes cantidades:

- China 10.000.000 Tipo Chino
- India 14.000.000 Tipo Indú
- Vietnam 40.000 Tipo Taiwan
- Cambodia 25.000
- Laos 2.000
- Colombia 5.000
- Costa Rica 1.000

La biodigestión son procesos biológicos en un medio anaeróbico para romper cadenas de moléculas complejas en sustancias más simples. Se considera una herramienta efectiva en el manejo de desechos orgánicos y la producción de metano como fuente de energía renovable (Aguilar y Botero, 2000). Los biodigestores pueden ser una gran alternativa, constituyéndose en una de las formas más sencilla y segura de dar tratamiento a excrementos humanos y animales en zonas rurales (Brown, 1987, citado por Aguilar y Botero, 2000).

El concepto general de la biodigestión o funcionamiento eficiente de un biodigestor lo podemos resumir en la **figura N° 3**, donde un biodigestor es un sistema completo donde entra una mezcla de excretas, materia orgánica, desechos biodegradables y durante el proceso se dan diferentes fases: hidrólisis, fermentación, acetogénesis, des hidrogenación y metanogénesis. La biodigestión, tiene dos tipos de salidas una en estado gaseoso que es una mezcla de sulfato de hidrógeno, amonio, bióxido y biogás. También, tiene otro afluente, que es aguas descontaminadas hasta en un 80%, este producto es rico en aminoácidos, mismo que es excelente como fertilizante foliar.

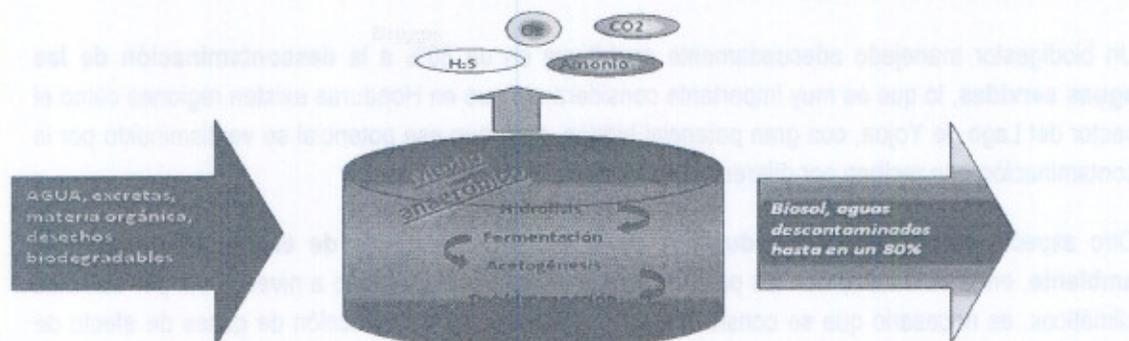
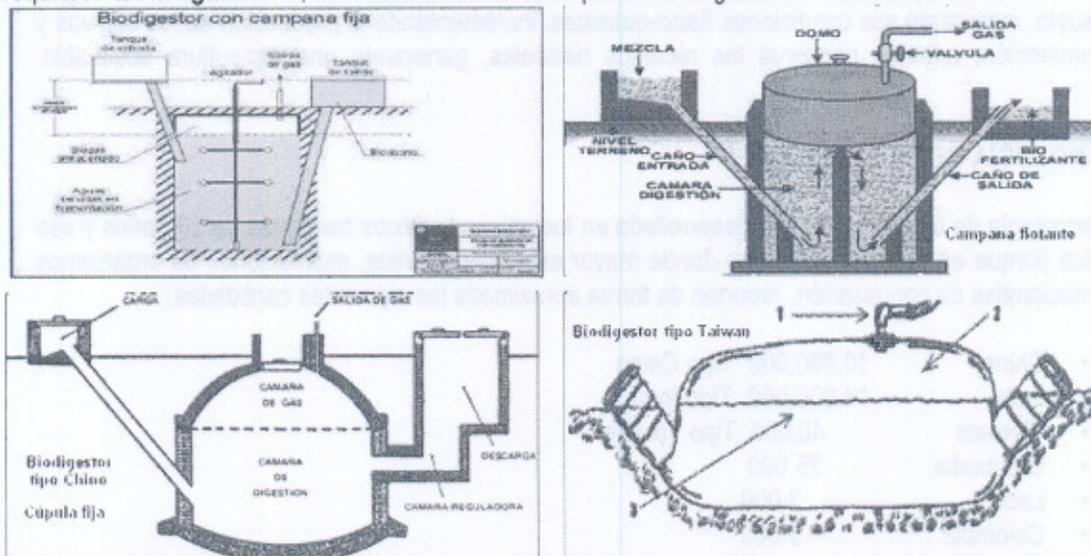


Figura N°3. Proceso de funcionamiento de un biodigestor. Botero, R. 2007.

Existen diferentes tipos de biodigestores, donde el funcionamiento es similar en todos los casos, variando en costos y duración, por el tipo de materiales que se emplea y la mano de obra que requiere. En la **figura N° 4**, se muestran los cuatro tipos de biodigestores más utilizados.



**Figura N°4.** Modelos de Biodigestores más utilizados en el mundo. FUENTES: CODESO, 2005; EARTH, 1998; Preston et al, s.f; ZOE Tecno-Campo. s.f.

Cuando se trabaja con sistemas de biodigestores existen parámetros claves que debemos considerar para tener éxito, entre los que podemos mencionar:

El pH ideal debe de ser entre 6.5 a 6.7, para que las bacterias trabajen eficientemente, con una temperatura promedio de 35°C para que el calor acelere el proceso.

El proceso debe darse en un sistema completamente anaeróbico, sin la presencia absoluta de oxígeno, para que se desarrollen las bacterias metanogénicas. La cantidad y calidad del gas que se produce esta directamente relacionada con el tipo de fuente que se use para alimentar el biodigestor. Otro aspecto muy importante, especialmente para la descontaminación de aguas es el tiempo de retención del material dentro del biodigestor, considerando teóricamente en promedio 30 días desde que un determinado volumen entra hasta que sale.

## BENEFICIOS DE UN BIODIGESTOR

Un biodigestor manejado adecuadamente contribuye en un 80% a la **descontaminación de las aguas servidas**, lo que es muy importante considerando que en Honduras existen regiones como el sector del Lago de Yojoa, con gran potencial hídrico, pero que ese potencial se ve disminuido por la contaminación que reciben por diferentes actividades humanas.

Otro aspecto importante es la **reducción de la emisión de gases de efecto invernadero al ambiente**, en la actualidad con los problemas que se están presentando a nivel global por cambios climáticos, es necesario que se consideren estrategias viables de reducción de gases de efecto de invernadero, mismas que pueden ser financiadas por la comunidad internacional y así muchas

familias que ahora contaminan, en el futuro pudieran recibir incentivos por no contaminar, adicionales a los beneficios directos que estos ofrecen.

**Sobreciclaje de la materia orgánica**, los desechos orgánicos se vuelven un contaminante ambiental, en muchos casos sencillamente se lanzan a una fuente de agua y no se les da un tratamiento previo, la tecnología de biodigestores permite el tratamiento y lograr extraer otros sub-productos de la materia orgánica de valor para las familias.

Los biodigestores son una tecnología sostenible para su implementación, considerando las siguientes ventajas:

**Baja inversión:** El costo de instalación para un biodigestor de 10 metros de longitud y una circunferencia del tubo de polietileno de 3.5 a 5 metros, oscila entre US \$ 100 a 150/unidad.

**Bajos insumos:** El costo de los materiales para su funcionamiento son excretas, residuos orgánicos y agua, por lo que son desechos de la finca que no tienen un valor económico, sino que son considerados como contaminantes.

**Facilidad de construcción:** Es muy sencillo el proceso de instalación, por lo que no requiere de grandes entrenamientos, para difundir la tecnología.

**Operación, manejo y mantenimiento simples:** El proceso es sumamente fácil que únicamente requiere de la voluntad y disciplina de la familia para realizarlo periódicamente.

**Seguridad:** No se tiene problemas con fenómenos naturales como inundaciones, sismos, etc. Por la flexibilidad que tiene. Si es necesario ponerle mucha atención a una eventual explosión por mal manejo, es peligro encender fuego cerca del biodigestor. También, es peligroso inhalar directamente el gas.

**Durabilidad:** La vida útil es de 4 a 5 años. Dependiendo de la protección que se le brinde, aunque algunos autores manifiestan que puede ser hasta de 10 a 15 años la vida útil.

**Flexibilidad:** Es muy flexible en cuanto a la cantidad y frecuencia de la alimentación, por lo que no requiere de medidas exacta que dificulten su manejo

**Efectividad:** Se puede encender la estufa desde 6 hasta 24 horas de llama por día

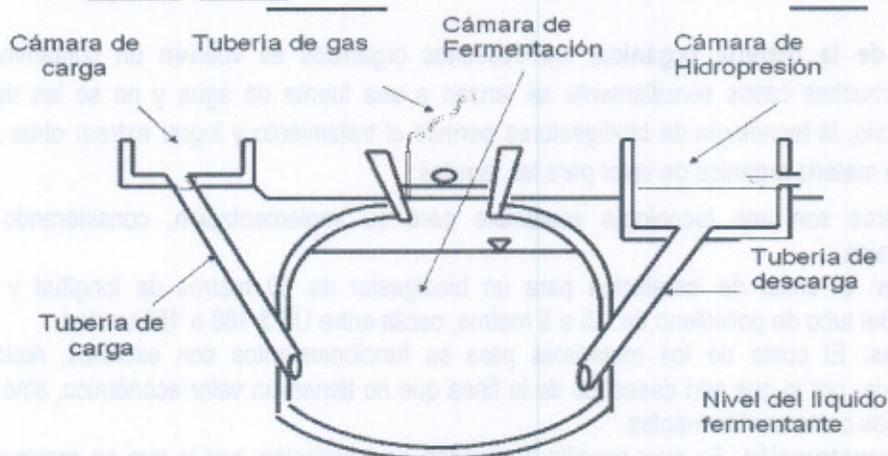
**Escala:** No tiene límites en el volumen a construir desde 6 metros en adelante, lo importante es que cumpla con el tiempo de descontaminación.

**Facilidad de difusión:** En las zonas rurales se difunde de campesino a campesino, porque atrae la producción de gas

**Rentabilidad:** El período de retorno de la inversión es corto, considerando los múltiples beneficios que estos traen, pero es entre 6 meses a un año.

**Bienestar social:** Reduce la cantidad de humo en las cocinas y con ello reduce infecciones respiratorias, además, el tiempo de cosecha y acarreo de leña se disminuye y la demanda de leña, disminuye. → (humo, tiempo para cosechar leña)

En la **Figura N°5**, se pueden observar todos los componentes de un biodigestor tipo Chino, mismo que aplica para los diferentes modelos, porque el concepto de funcionamiento no cambia.



**Figura N° 5** Componentes de un biodigestor Tipo Chino. Fuente: Botero, R. 2001.

## CAPITULO II

### Metodología del Estudio

#### Selección de los sitios de experimentación

Se realizaron 5 repeticiones para cada tratamiento con igual número de productores de café, ubicados en la zona de amortiguamiento del PANACAM específicamente en las siguientes comunidades: Santa Elena 630 msnm, (Exp1), Los Pinos 750 msnm, (Exp1), ambas comunidades son jurisdicción del Municipio de Santa Cruz de Yojoa, Cortés y San José de Planes 1,180 msnm (Exp4, 5, 6 y 7) en el municipio de Meámbar, Comayagua. En todas las repeticiones con biodigestores en San José de planes se usó como inóculo la conexión directa de las letrinas. En Coordinación con el IHCAFE, se realizó un tratamiento en el Centro de Investigación Dr. Jesús



**Figura N° 6.** Mapa de ubicación de la zona del estudio. Fuente Proyecto Aldea Global.

Aguilar Paz, La Fe, llama Santa Bárbara (Exp 8), para lograr una validación técnica por ser la institución líder a nivel nacional en materia de café. Otras experiencias especialmente con el sistema de biodigestores se desarrollaron en Taupaz (Exp. 9), Siguatepeque, Comayagua usando estiércol de vaca y en el Instituto Técnico Federico C. Canales (Exp.10), de Jesús de Otoro, Intibucá, usando estiércol de cerdo, mismas que se impulsaron considerando las facilidades de cada una de las instituciones.

## TRATAMIENTOS DESARROLLADOS

### Tratamiento de Pulpa de café.

#### 1.- Usando Microorganismos eficientes (EM):

El EM activado= 1 parte de EM1 más 1 partes de melaza en 18 partes de agua se fermentó por 10 días. El EM Activado (EMA) se asperjó a la pulpa de café haciendo uso de una regadera de vivero de 16 litros, mezclando 4 litros de EM activado con 200 ml de melaza y 12 litros de agua. Después de la inoculación, la pulpa de café se cubrió con un plástico y se volteó cada tres días y en cada volteo se le aplicó nuevamente el EMA. La cantidad de muestra de pulpa de café usada en cada repetición fue de 20 quintales y a cada repetición se le aplicó 30 litros de la mezcla total cada tres días (cada volteo). Durante todo el proceso se mantuvo la pulpa tapada con plástico de color negro.

#### 2.- Mezcla con productos comerciales (locales):

Se mezclaron dos partes de Yogout natural, 10 partes de suero, 10 partes de melaza, 1 parte de levadura de pan, 10 partes de agua de arroz, 5 partes de tierra virgen de montaña y 10 partes de agua. Se mezcló y dejó reposar por setenta y dos horas y finalmente se coló en una manta. Luego se realizó exactamente el mismo proceso de aplicación a cada repetición como en el caso del EMA.

**3.- Mezcla con productos locales:** Se mezclaron 10 partes de maíz en su punto de madurez fisiológico molido y fermentado por 48 horas, 10 partes de maíz seco fermentado con agua y dulce de panela durante 6 días, 10 partes de jugo de caña fermentado por 72 horas, 10 partes de suero crudo de leche sin fermentar, 10 partes de agua de arroz, 5 partes de tierra virgen de montaña y 25 partes de agua; estos se dejaron reposar por 5 días y posteriormente se coló usando una manta y se aplicó de forma igual a los tratamientos 1 y 2.



**4.- Testigo:** Como parámetro de comparación de los resultados se utilizó un testigo, con la misma cantidad y calidad de pulpa, a ésta repetición únicamente se le aplicaba una cantidad de agua similar al volumen total de la mezcla de cada uno de los tratamientos y cada tres días se volteó para dar la aireación similar a los tratamientos y se mantuvo tapado con plástico de color negro.

### Tratamiento de Aguas mieles

**1.- Biodigestores de polietileno tipo Taiwan.** Se construyó una fosa de 80 cms de ancho en el fondo y 120 cms en la entrada (boca) por 8 metros de longitud y 60 cms de profundidad. Se colocó un tubo de polietileno de 70 pulgadas de diámetro y 10 metros de longitud, formado por una doble bolsa de polietileno color negro, de 0.6 mm de espesor cada una. En cada extremo de la bolsa se colocaron dos baldes sin fondo para dar el ancho y la firmeza deseada a la entrada y salida del biodigestor. Se le instaló la válvula de salida, válvula de seguridad y las conexiones necesarias hasta acoplar la estufa metálica que se diseñó en este proceso.



**Figura N° 7.** Instalación de un Biodigester\_Tipo Taiwán, Instituto Técnico Federico C. Canales, Jesús de Otoro. Foto: Osorio, P. 2008

Una vez realizadas todas las instalaciones se infló usando el escape de un vehículo, para comprobar que no tuviera fugas y facilitar el manejo al momento del llenado de agua. Posteriormente, se llenó con agua limpia hasta alcanzar aproximadamente entre el 60 y 70% de la capacidad total de almacenamiento del biodigester. Una vez, que se logró el porcentaje deseado se estabilizaron los niveles de entrada y salida del biodigester, dejando la entrada 20 cms más alta que la salida, para permitir el cierre hidráulico y evitar la fuga del gas.

Inmediatamente se comenzó a realizar las cargas con aguas mieles provenientes del primero y segundo lavado, estas aguas contienen una carga alta de mucilagos con cafeína y taninos. Se logró comprobar que los biodigestores no tienen buen funcionamiento con estas aguas y el proceso de producción de gas se prolonga por un tiempo muy superior al tiempo que se tarda el inicio de producción de gas usando otras fuentes como estiércoles de cerdo o ganado bovino.

Considerando la dificultad del tratamiento de aguas mieles se construyó una pila de almacenamiento, con dos depósitos con capacidad de 1 m<sup>3</sup> cada uno, para reposar las aguas mieles por un período de 48 horas, previo al ingreso al biodigester. Las pilas con dos depósitos fueron debido a que el productor lava café todos los días y así se facilita alternar diariamente y reposar las aguas por 48 horas. Este tiempo de reposo y exposición al sol permitió el inicio de la fermentación y con ello la degradación paulatina de los taninos y cafeína.



Pilas de concreto para reposar aguas mieles. Foto: Perdomo, C. 2008

Además, se utilizó fuentes adicionales de estiércol de cerdo, vacas o heces humanas, para inocular bacterias anaeróbicas necesarias para acelerar el proceso de producción de gas dentro del biodigester. Con estas dos importantes enmiendas al proceso se inició haciendo descargas de 1 m<sup>3</sup> de aguas mieles diariamente al biodigester.



**Figura N° 8.** Sistema completo con biodigester y pilas para el tratamientos de las aguas mieles. Ubicado en Centro de Investigación Jesús Aguilar Paz, IHCAFE, La Fe, Ilama Santa Bárbara. Foto: Perdomo, C. 2008

Para tratar los afluentes del biodigestor se construyó un pozo de 1 m<sup>3</sup> directamente en el suelo, que funciona como un resumidero, como opción adicional, se puede construir una pila de concreto para coleccionar estos afluentes y usarlos en fertilizaciones de cultivos, ya que son ricos en aminoácidos.

Se utilizaron 2 biodigestores utilizando estiércol de cerdo y dos biodigestores usando únicamente estiércol de ganado bovino. Las cantidades que se cargaron diariamente variaron de acuerdo a la disponibilidad de desechos de cada finca. Estos biodigestores, se instalaron con el propósito de comparar la eficiencia usando estas fuentes con los biodigestores usando aguas mieles. Para medir el gas que se produjo en cada experiencia, se registró el tiempo de encendido de las flamas de una estufa de dos quemadores.

En las figuras N° 9 y 10 se observa el biodigestor construido con la familia del señor Napoleón Copland, en la comunidad de Taupaz, municipio de Siguatepeque. Este biodigestor funciona con el uso de estiércol de ganado bovino y se le incorporaron las aguas negras provenientes de la letrina de la familia. Los biodigestores pueden hacer la función de una fosa séptica, procesando eficientemente las heces. Si comparamos los costos de construcción de una fosa y los costos de instalación de un biodigestor observamos que son muy similares, con la ventaja adicional que los subproductos del biodigestor (biogás y afluentes) pueden ser usados por la familia.



Figura N° 9. Letrina instalada directamente al biodigestor. Taupaz, Siguatepeque.  
Foto: Perdomo C. 2008



Figura N° 10. El señor Napoleón Copland, en la comunidad de Taupaz, Siguatepeque, realiza la labor de carga diaria del biodigestor usando estiércol bovino.  
Foto: Perdomo, C. 2008

### Análisis químico

Para medir la eficiencia del tratamiento de aguas contaminadas a través de la tecnología de biodigestores se realizaron muestreos tanto en la entrada como en la salida del biodigestor, como se observa en la figura N° 11. Estas muestras fueron procesadas en el Laboratorio del Instituto Hondureño del Café, en San Pedro Sula.

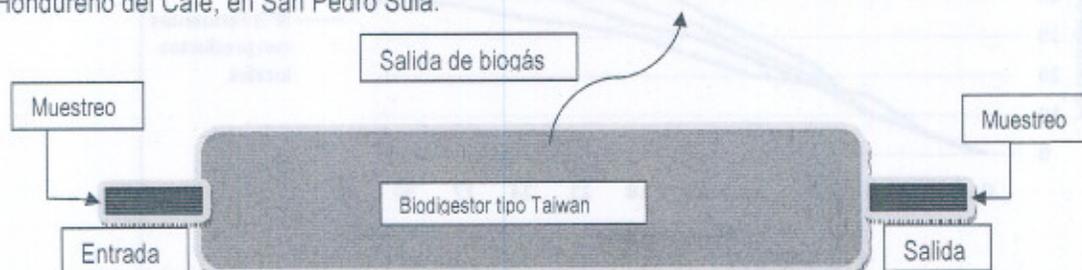


Figura 11. Croquis del biodigestor y los puntos de muestreo

## CAPITULO III

### Resultados y Discusión

#### Descomposición de pulpa de café

Se le dio seguimiento al comportamiento en la descomposición de la pulpa de café, a través de la aplicación de los tres tratamientos en estudio N°1.- Usando *Microorganismos eficientes (EMA)*, N° 2.- *Mezcla con productos comerciales (locales)* y N° 3.- *Mezcla de fermentos con productos locales*, se compararon en cada repetición con N°4.- *El Testigo* (únicamente pulpa).

Los tres tratamientos presentaron un comportamiento satisfactorio con los objetivos del estudio que es buscar alternativas para la descomposición acelerada de la pulpa de café con el uso de microorganismos.

Para medir el porcentaje de descomposición se realizaron observaciones considerando la apariencia física de la pulpa (color, la consistencia al tacto, el grado de reducción de tamaño de la partícula y el volumen total de la pulpa).

Los mejores resultados se dieron con las aplicaciones del **EMA**, que en un lapso de treinta días alcanzó una descomposición de 83%. El estado físico y la temperatura de la pulpa a los 21 días eran adecuados para aplicarlo directamente a los cultivos o utilizarlo en lombricomposteras. Los resultados de los otros dos tratamientos fueron aceptables llegando a un nivel de descomposición con la mezcla, la mezcla (N°3) de productos fermentados locales se ubicó en un segundo lugar con un 65% de descomposición y el (N°2) de productos comerciales alcanzó un porcentaje de descomposición del 60% de la pulpa, en comparación del testigo que la descomposición estimada fue de un 40%. **Ver Figura N° 11**

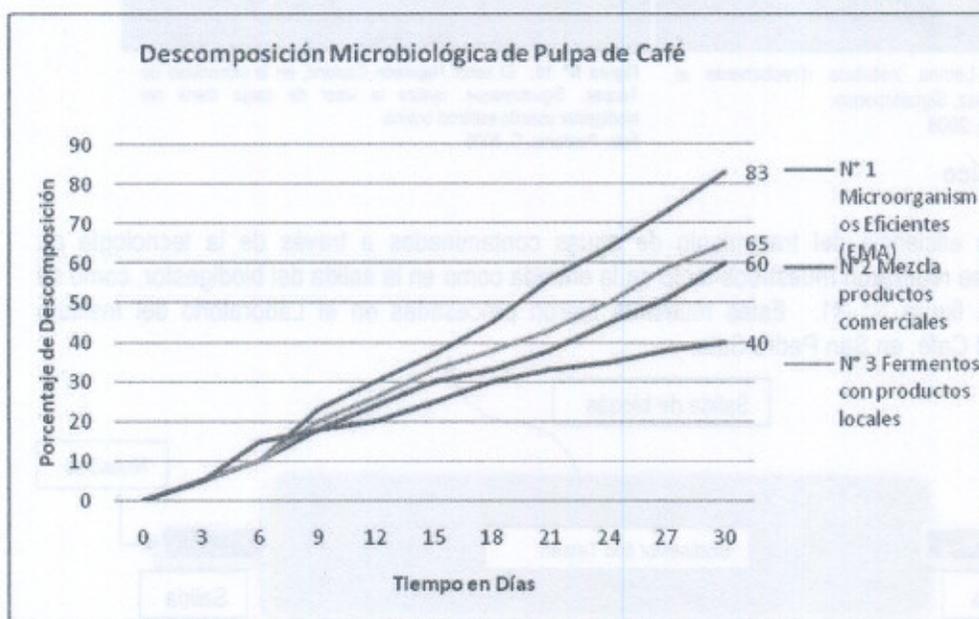


Figura N° 12. Descomposición de pulpa de café en un período de treinta días.

El EMA es un producto comercial reconocido a nivel mundial por su efectividad en la descomposición de materia orgánica, de acuerdo a la revisión de información que se realizó de la experiencia en el tratamiento de pulpa de café con éste producto, únicamente se ha tenido con esfuerzos aislados de productores de café que no han documentado su experiencia.

El EMA es un complejo de bacterias lácticas, fototróficas y levaduras, que juntas hacen la descomposición eficiente de la materia orgánica de una forma amigable con el medio ambiente. Con las dos mezclas que se realizaron en la investigación con productos locales, el objetivo fue encontrar productos sustitutos del complejo **EM**, que estuvieran al alcance del pequeño productor de café. Por esa razón en el tratamiento N° **2.- Mezcla con productos comerciales (locales)** se utilizó Yogurt natural y suero crudo de leche de vaca para inocular bacterias lácticas, agua de arroz para inocular bacterias fototróficas y levadura comercial utilizada en la elaboración del pan para inocular las levaduras, la tierra virgen de montaña diluida en agua se utilizó para inocular microorganismos benéficos a la descomposición y la melaza se utilizó como una fuente energética para los microorganismos.

En la **Mezcla 3 de fermentos con productos locales**, el propósito fue igual a la mezcla 2, pero considerado las limitantes del pequeño productor se utilizaron productos accesibles, El suero crudo de leche de vaca y el agua de maíz verde (madurez fisiológica) agriado con el mismo proceso de la elaboración de la bebida autóctona de la etnia Lenca (atol agrio) para inocular bacterias lácticas, para bacterias fototróficas se utilizó el agua de arroz, para inocular levaduras se utilizó la fermentación de maíz (chicha) y en sustitución de la melaza se utilizó jugo de caña fermentado. Además, se aplicó tierra virgen de montaña diluida en agua para inocular otros microorganismos benéficos.

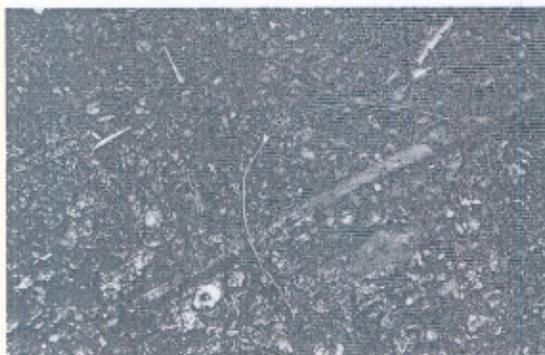


Figura N° 13: Apariencia física de la pulpa de café a los 30 días con tratamiento de EMA

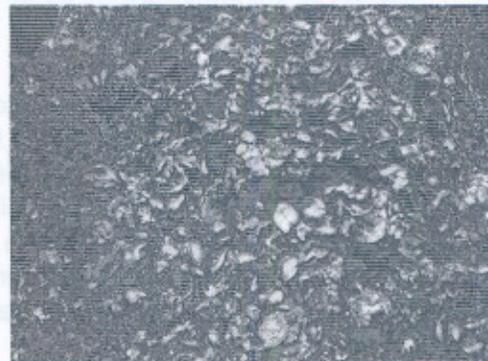


Figura N° 14: Apariencia física de la pulpa de café a los 30 días. Testigo

Obsérvese en las figuras números 13 y 14 la diferencia en apariencia física o grado de descomposición a los 30 días entre en tratamiento usando EM y el testigo. El testigo conserva la forma y un color café claro en la pulpa, mientras que el tratamiento con EM, se observa el tamaño de las partículas más reducido.

Un aspecto muy importante es que en ninguno de los tratamientos existió la presencia de moscas, se considera a que en gran medida se debe a que siempre se mantuvieron cubiertos los tratamientos, usando un plástico negro. Sin embargo, después de los 30 días fue notorio que en el tratamiento con EM no se observó presencia de ningún tipo de larva, no así en los otros tratamientos incluyendo el testigo, según informaciones de los distribuidores para Honduras se debe a la acción de las bacterias fototróficas que eliminan diferentes patógenos dañinos a la salud. También, aspecto muy destacable es que en ninguno de los tratamientos se presentaron olores desagradables al momento de la descomposición de la pulpa de café, que es uno de los problemas de contaminación atmosférica más común en las zonas cafetaleras del país.

### **Análisis químico de bioabono**

Se analizaron muestras de pulpa en proceso de descomposición a 30 días con los diferentes tratamientos en el laboratorio de Instituto Hondureño del Café (IHCAFE) y también, se analizaron muestras de bioabono procesado con lombricompost de tratamientos realizados por IHCAFE, para comparar resultados ya que el bioabono producido a través de lombriz californiana es considerado uno de los más ricos nutricionalmente y con mayor disponibilidad para ser aprovechados por las plantas.

En los cuatro casos presentaron altos contenidos de materia orgánica, fósforo y potasio, lo que indica el alto contenido nutricional, que además aportan una carga microbiana muy importante para la mineralización de la materia orgánica del suelo. Ver cuadro N° 1. Análisis químico del bioabono.

Los suelos dedicados al agro y ganadería en Honduras, tienen baja fertilidad por un proceso acelerado de degradación por mal manejo, donde el constante uso de fuego en un corto periodo deteriora la capa fértil de suelo. Es necesaria realizar enmiendas considerables de materia orgánica para recuperar la fertilidad de los suelos a través de procesos de enriquecimiento microbiano. Estos tratamientos quizá no aporten cantidades significativas de nutrientes al suelo, pero si una alta carga microbiana que acelera la mineralización de la materia orgánica convirtiéndola en humos, disponible para los cultivos. Estos bioabonos, no requieren de materiales de alto costo externos a las fincas y su transporte es fácil por lo que consideramos que es una alternativa sostenible ambiental, económica y socialmente.

**Cuadro N° 1. Análisis químico de bioabono**

MUESTRA	PH	MO	Pasim	K	CA	MG	AL	ZN	MN	FE	CU	Acint
EMA	9.20	32.00	59.82	4.36	1.52	1.55	0.01	0.78	1.81	21.44	1.37	0.40
T. N° 2	9.20	36.48	48.81	7.86	1.25	1.22	0.06	0.60	1.78	13.68	0.92	0.12
T. N° 3	8.60	35.20	38.84	14.08	2.92	2.21	0.04	0.28	3.95	1.70	0.30	0.08
Lombricompost	9.50	40.96	58.67	9.01	1.01	1.24	0.18	0.49	1.68	14.27	1.36	0.32
TESTIGO	9.01	28.16	44.22	12.99	0.94	1.25	0.25	0.15	2.18	15.20	1.38	0.44

Laboratorio de IHCAFE

EMA = Tratamiento con Microorganismos Eficientes Activado

T. N° 2 = Tratamiento con Mezcla con productos comerciales

T. N° 3 = Fermentos con productos locales

Lombricompost = Bioabono producido con lombriz californiana

Testigo = Pulpa tratada únicamente con agua

**Costos por tratamientos:**

Para el tratamiento de 40 sacos (aproximadamente 25 quintales) de pulpa de café, el costo en materiales fue de L. 410 para el EM resultando un costo unitario de L. 10.25 por cada saco procesado, para el tratamiento N° 2 el costo en materiales fue de L. 350.5, con un costo unitario por saco de pulpa procesado de L. 8.76 y para el tratamiento N° 3 usando materiales locales el costo fue de L. 223 con un costo unitario de L. 5.57. En los costos promedios de los tres tratamientos no se incluyen los costos de mano de obra para la elaboración y aplicación de cada tratamiento. Otro costo que no se incluye es el valor del plástico que se utilizó para cubrir la pulpa de cada tratamiento.

Aun, sin considerar los costos de mano obra y el plástico los valores que resultaron son accesibles para los productores de diferentes niveles de producción. Adicionalmente que los subproductos son aprovechables para la fertilización de las fincas, el propósito se logra con los beneficios de la descontaminación, que en el futuro puede ser fundamental en los procesos casi obligatorios de certificación de fincas para permitir el acceso a mercados internacionales de mayor exigencia.

**Cuadro N° 2.** Costos de tratamiento de pulpa de café por quintal.

Tratamiento N° 1. Usando EM1				
Materiales	cantidad	Unidad	costo unitario	Costo total
EM	2	Its	200	400
Melaza litro	2	Its	5	10
Agua	205	Its		
Costo total en materiales				410
Costo unitario por quintal procesado de pulpa de café				10.25
Tratamiento N° 2. Usando materiales comerciales				
Yogur natural	2.5	Its	75	187.5
Suero crudo de leche	10	Its	1.8	18
Melaza	10		5	50
Levadura	1		70	70
Agua de arroz	10		2	20
Tierra de montaña	5	kg	1	5
Agua	10	Its		
Costo total en materiales				350.5
Costo unitario por quintal procesado de pulpa de café				8.76
Tratamiento N° 3 Usando Fermentos locales				
Maíz verde (madurez fisiológica)	10	Litros	2	20
Maíz fermentado (Chicha)	10	Litros	4	40
Jugo de caña fermentado	10	Litros	12	120
Suero crudo de leche	10	Litros	1.8	18
Agua de arroz	10	Litros	2	20
Tierra de montaña	5	Kg	1	5
Agua	25	Litros		
Costo total en materiales				223
Costo unitario por quintal procesado de pulpa de café				5.57

## Tratamiento de aguas mieles usando tecnología de biodigestores

La tecnología de biodigestores han mostrado eficiencia en el tratamiento de aguas contaminadas, razón por la que fue implementada para el tratamiento de las aguas mieles considerando el alto grado de contaminación que poseen. Las aguas mieles es quizá uno de los subproductos orgánicos mas contaminantes de las fuentes de agua provenientes de las actividades agropecuarias en nuestro medio, a tal grado que si comparamos una fuente de agua en la cual se vierten desechos provenientes de la cañería de aguas negras de una comunidad con una fuente en la que se vierten aguas mieles provenientes de un beneficio, sin ningún tratamiento, observamos que en aquellas aguas que se depositan aguas negras sobreviven algunas especies de fauna y flora acuática; sin embargo, en la fuente donde se vierten aguas mieles no sobrevive prácticamente nada.

### Producción de metano.

Para medir la producción de metano no se contó con el equipo necesario, por el alto costo del mismo entonces se realizó a través de una apreciación del tiempo diario de encendido de la flama y el color de la misma.

El tiempo de encendido diario de la flama en los biodigestor instalados con las dimensiones antes mencionadas osciló entre 4 y 6.5 horas de encendido, usando dos quemadores de una estufa diseñada para tal fin. La flama obtenida en ninguno de los casos produjo el calor necesario para la cocción eficiente de los alimentos, esta limitante en el proceso se atribuyó en gran medida al diseño de la estufa, la cual requiere ser revisada. Las familias únicamente han usado las estufas con biogás para mantener el calor en los alimentos previa cocción en una hornilla o estufa tradicional, debido a la lentitud en el tiempo de cocción de alimentos como huevos, papas o alcanzar el punto de ebullición en el agua, leche u otro líquido.

La flama producida fue de color azul, lo que indica según experiencia y mediciones realizadas por Botero, R. Universidad EARTH, Costa Rica. Que el biogás posee un porcentaje mayor a 60% de metano, considerándose gas de muy buena calidad, si la flama presenta colores amarillos, anaranjados o rojizos entonces indica la presencia de alto contenido de oxígeno, agua u otros elementos.

Otra limitación que se presentó en el proceso fue **cultural**, ya que algunas familias no deseaban usar el biogás en sus cocinas para la cocción de alimentos por considerar que las fuentes con estiércoles no eran higiénicas y manifestaban que en los alimentos y la cocina se percibían olores no agradables. El problema se agravó con el uso de las aguas negras provenientes de las letrinas, manifestando que los olores que se percibían eran mayores. Se promovieron visitas de profesionales de la salud, comunidad e inclusive una comisión de la Secretaría de Recursos Naturales (SERNA) y ningunos de los visitantes logró percibir los olores que las amas de casa manifestaban se presentaban durante el proceso de cocción. En el área de los biodigestores (patio de las casas), se percibía un olor a metano y en algunos de los casos (cerdaza y vacaza) se percibían olores a estiércol en descomposición, la razón era que los biodigestores eran de dimensiones muy pequeñas a la cantidad de estiércol que se depositaba. La capacidad del biodigestor (volumen) debe ser calculada para que el 60 a 70% del cilindro almacene durante 30 días mínimo la cantidad depositada diariamente, a esto se le conoce como **tiempo de retención**, en el caso específico de esta investigación todos los biodigestores tuvieron las mismas dimensiones y

las familias depositaban cantidades diferentes según la cantidad de desechos que se producían diariamente en la fincas.



Figura N° 15 Color azul de la flama, indicador de alta calidad de biogás.

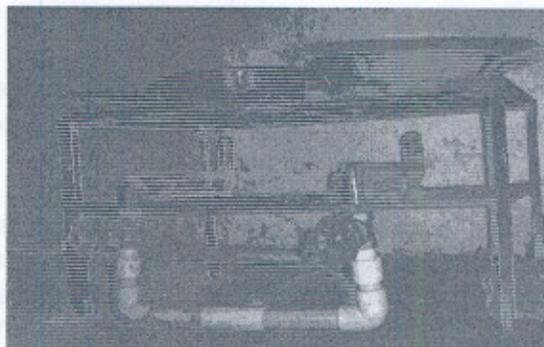


Figura N° 16 Estufa diseñada para aprovechar el biogás producto de los biodigestores.

### Análisis químicos de laboratorio

#### Análisis químico de las muestras

Para realizar los diferentes análisis químicos se tomaron muestras en las entradas y salidas de los biodigestores, para tener un parámetro de comparación se analizaron muestras de biodigestores usando cerdaza y vacaza, comparándolos con los biodigestores que procesan aguas mieles como objetivo del estudio.

Los sistemas de biodigestores mostraron ser una tecnología altamente eficiente en el tratamiento de aguas contaminadas con vertidos orgánicos como son las Aguas mieles, pulpa de café, cerdaza, vacaza e inclusive heces fecales provenientes de las letrinas familiares. Sin embargo, según los análisis de laboratorio a pesar de bajar la contaminación significativamente, aun requieren un tratamiento posterior para cumplir con las reglas internacionales de parámetros permisibles de vertidos agroindustriales a causas naturales. No cabe ninguna duda que los logros obtenidos en la reducción de la contaminación a través del tratamiento de aguas con la tecnología de biodigestores dan paso esperanzador para la industria agropecuaria, para reducir los altos índices de contaminación actuales, así como evitar multas y hasta cierres de operaciones obligados por no cumplir con las regulaciones ambientales.

Es necesario continuar trabajando con diseños de capacidad de biodigestores que permitan los tiempos de retención necesarios para reducir la contaminación hasta niveles permisibles, así como tratamientos complementarios para los afluentes de los biodigestores.

Costos de un biodigestor tipo Taiwan con las especificaciones de la investigación.

Costo en materiales	Lps. 1,450.00
Costo estufa rustica	Lps. 450.00
Mano de Obra	Lps. 500.00
<b>TOTAL</b>	<b>Lps. 2,400.00</b>

La vida útil del biodigestor se estima en 4 a 5 años y valorando los beneficios ambientales, económicos y sociales puede ser pagado en un período de tiempo entre 6 meses a un año, dependiendo la intensidad del uso.

El costo estimado diario de mantenimiento (carga del biodigestor) aproximadamente una persona se tarda ½ hora, para hacer las labores de recoger el estiércol, hacer la mezcla y depositarla en el biodigestor, estimando un costo de Lps. 10.00

Considerando los beneficios que presenta y sobre todo la eficiencia en el tratamiento de aguas servidas con descargas orgánicas importantes, y la facilidad de instalación y manejo del mismo, consideramos que es una tecnología de bajo costo accesible a pequeños, medianos y grandes productores. En la figura No. 17 se observa, La reducción significativa de sólidos sedimentables entre salida y entradas en aguas mieles al biodigestor.

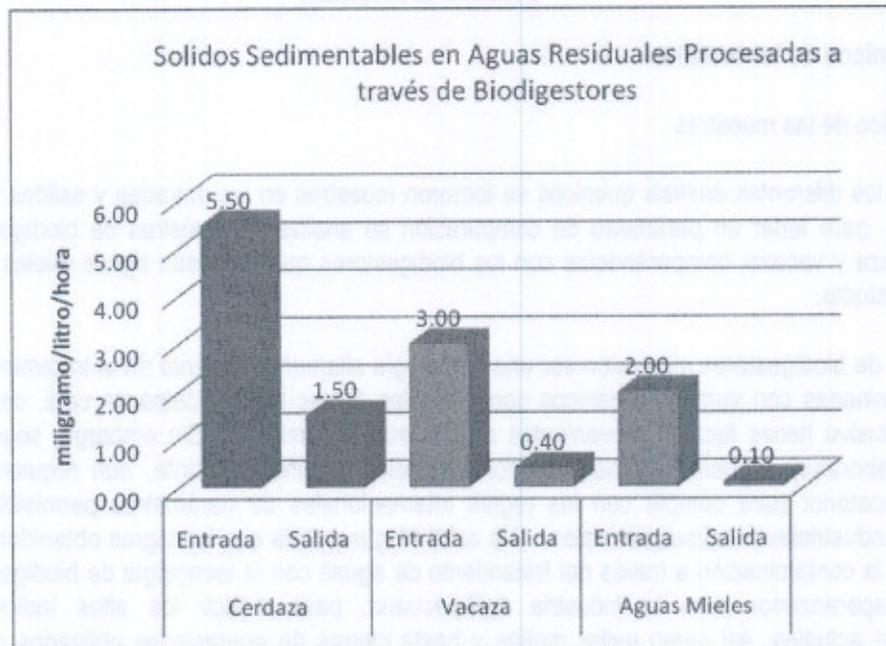


Figura N° 17. Sólidos Sedimentables.

La reducción de sólidos totales en aguas mieles es de 26 400 ml/ L a 2000 ml/L, parámetros que nos indican la efectividad en el tratamiento, como lo muestra la figura No. 18.

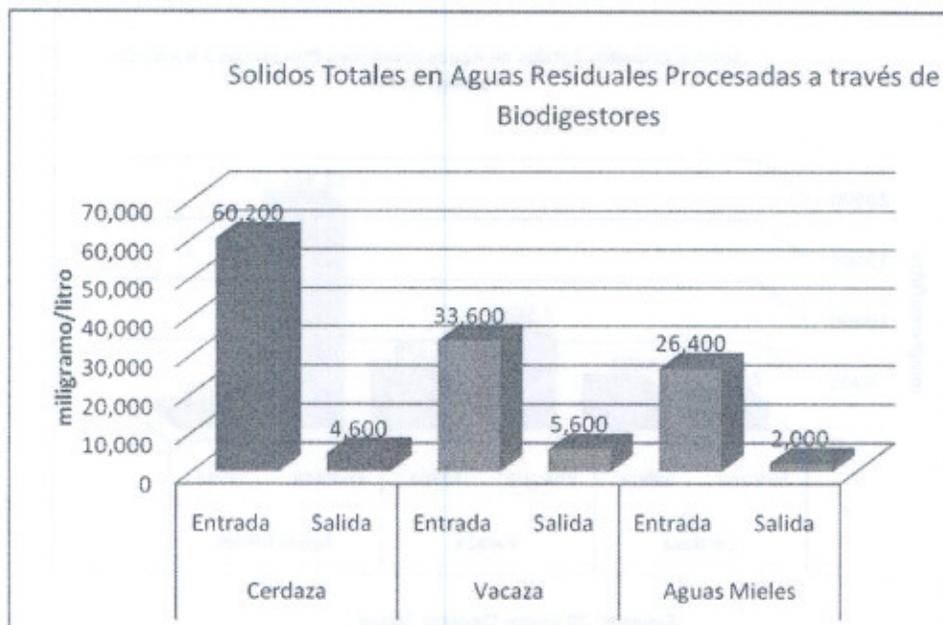


Figura N° 18 Sólidos Totales

Los sólidos suspendidos totales en aguas residuales fue el parámetro que presentó mayor reducción en todos los tratamientos (Figura No. 19)

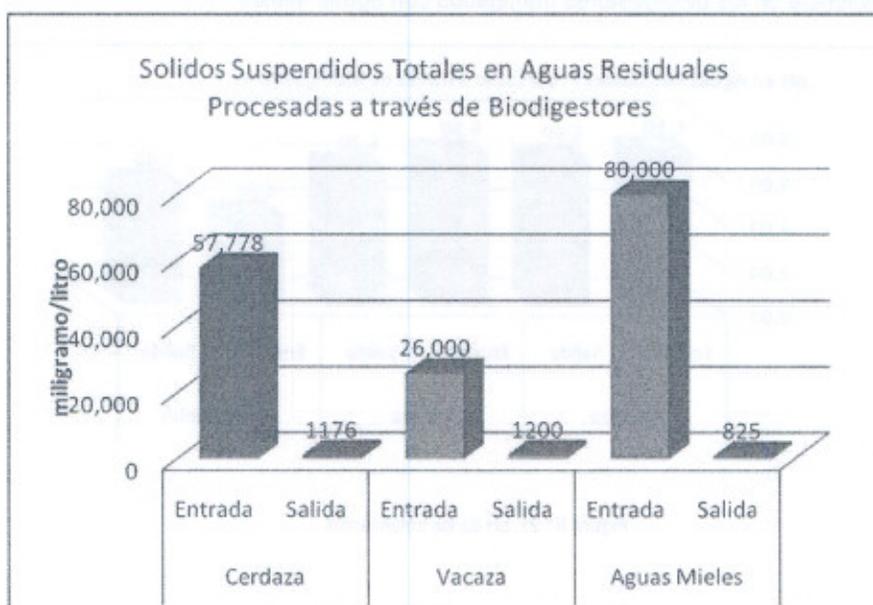


Figura N° 19 Sólidos suspendidos

Los Sólidos disueltos totales mostraron una tendencia con un descenso muy significativo, lo que muestra la efectividad de los sistemas de biodigestores en el tratamiento de aguas contaminadas.

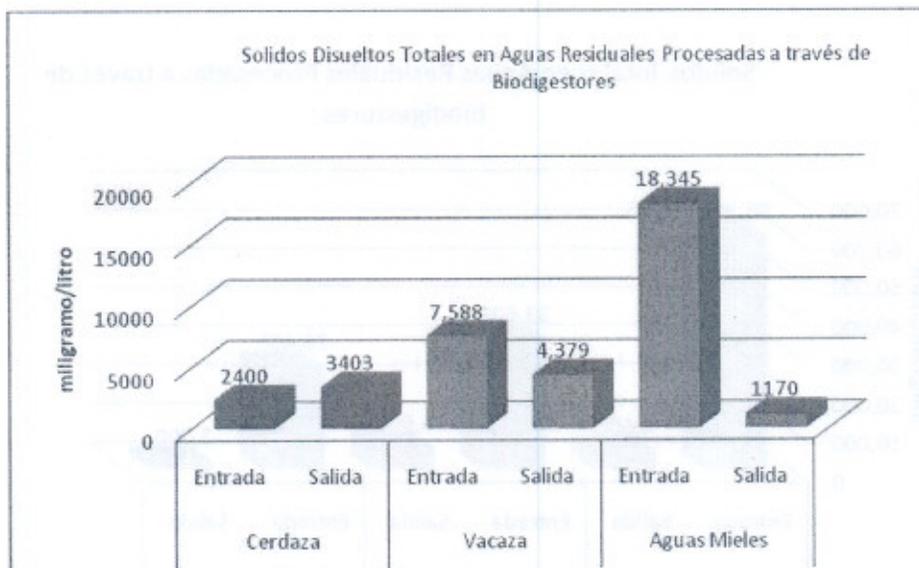


Figura N° 20 Sólidos Disueltos Totales.

El pH nos muestra la acidez de las aguas mieles, con respecto a los otros tratamientos lo que indica la razón por la cual se dificulta el funcionamiento de los biodigestores, únicamente con aguas mieles. Es necesario darle un tratamiento previo, porque los biodigestores funcionan con mayor eficiencia con valores de pH cercanos a 7 grados. Quizá, sea necesario hacer enmiendas de cal para aumentar la eficiencia de los biodigestores manejados con aguas mieles.

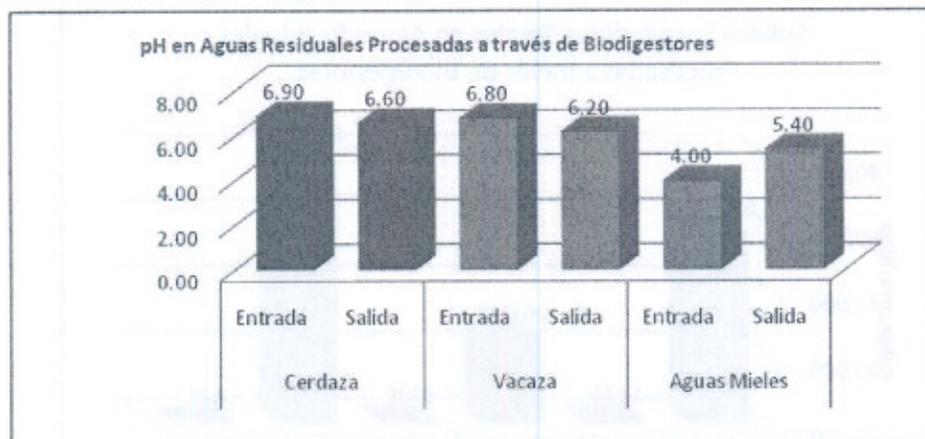


Figura N° 21. pH de los tratamientos.

La Turbidez tiene una estrecha relación con los sólidos en suspensión y sólidos totales, por lo que es de esperarse que los resultados en este parámetro sean positivos. En agua mieles proporcionalmente fue mucho mayor la reducción, que las otras muestras.

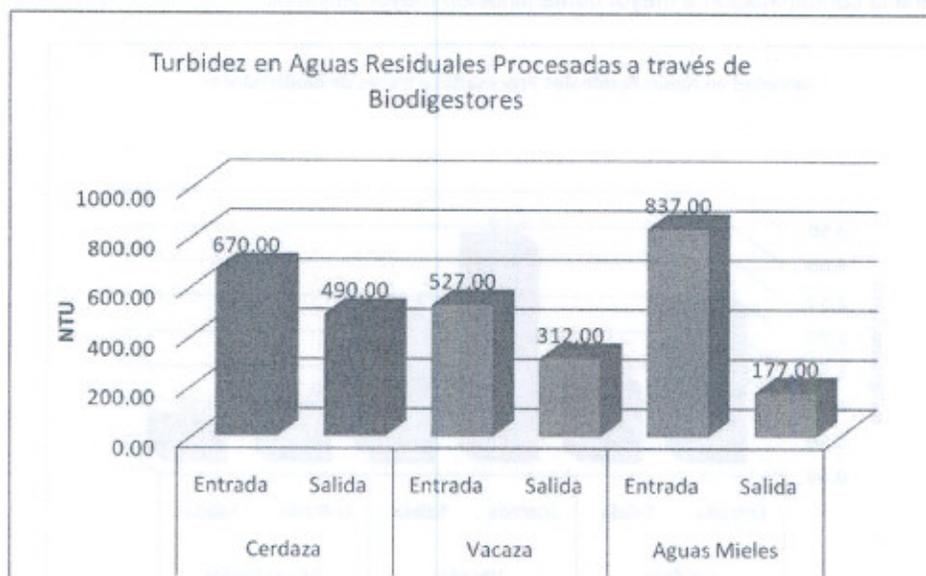


Figura N° 22 Turbidez según tratamiento

En la figura No. 23 podemos observar que la conductividad tiene un aumento positivo, este parámetro tiene estrecha relación con el grado de contaminación en el agua. A menor contaminación mayor conductividad. La salinidad tiene un comportamiento inverso a la conductividad, en aguas contaminadas la salinidad es casi directamente proporcional a la contaminación a mayor contaminación mayor salinidad.

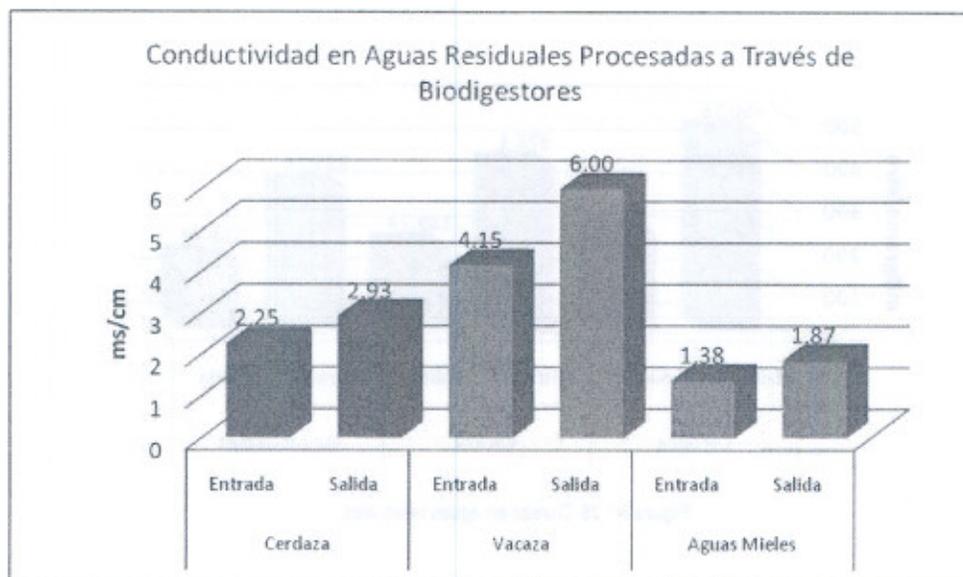


Figura N° 23. Conductividad en los tratamientos.

En la figura No. 24 podemos observar que la salinidad tiene un decrecimiento, La salinidad tiene un comportamiento inverso a la conductividad, en aguas contaminadas la salinidad es casi directamente proporcional a la contaminación a mayor contaminación mayor salinidad

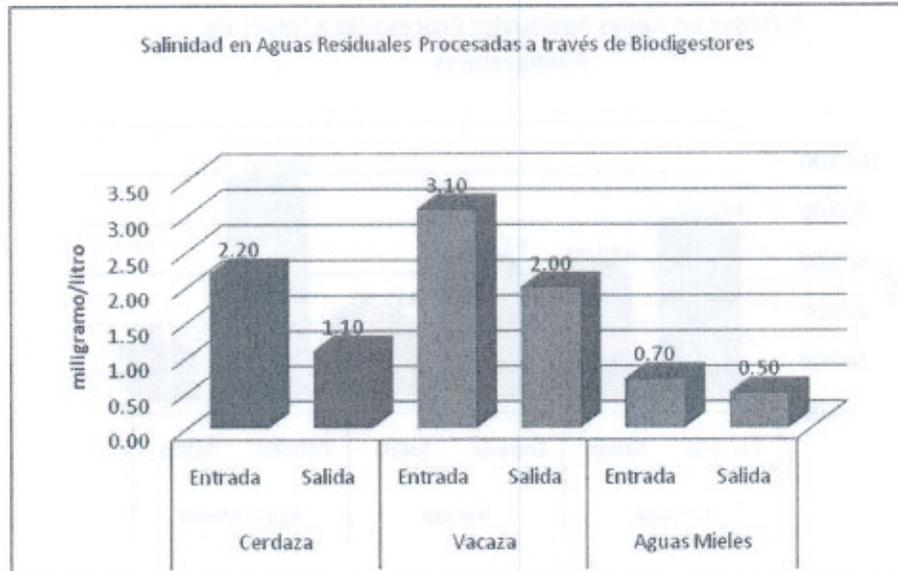


Figura N° 24 Salinidad en aguas residuales.

La dureza del agua consiste en la dificultad de tratamiento, por lo que a mayor contaminación mayor dureza en el agua.

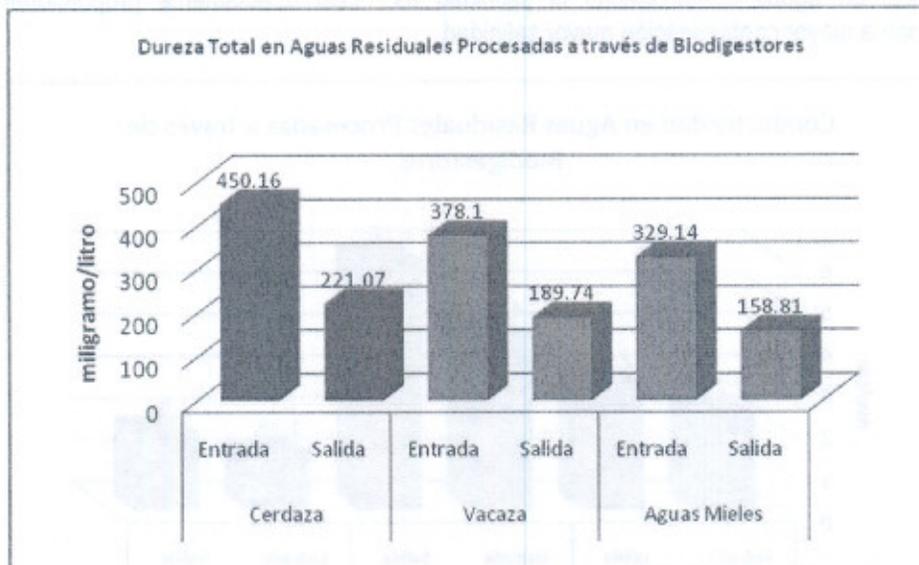


Figura N° 25 Dureza en aguas residuales.

La demanda química de oxígeno es uno de los parámetros más importantes en el tratamiento de aguas contaminadas, se trata del oxígeno total que necesita el sistema (ecosistema) para tratar microbiológicamente la contaminación existente en el cuerpo del agua.

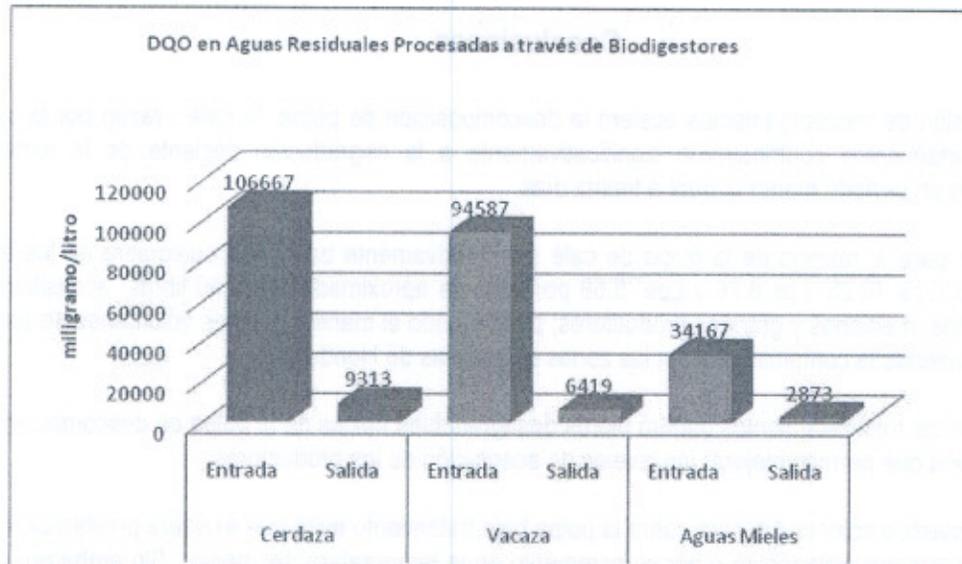


Figura N° 26. Demanda química de oxígeno

La demanda biológica de oxígeno es un parámetro importantísimo, el cual según estándares internacionales no debe superar los 500 mg / Litro. En este caso se necesita de biodigestores con mayor capacidad de retención y tratamientos complementarios para cumplir con la norma.

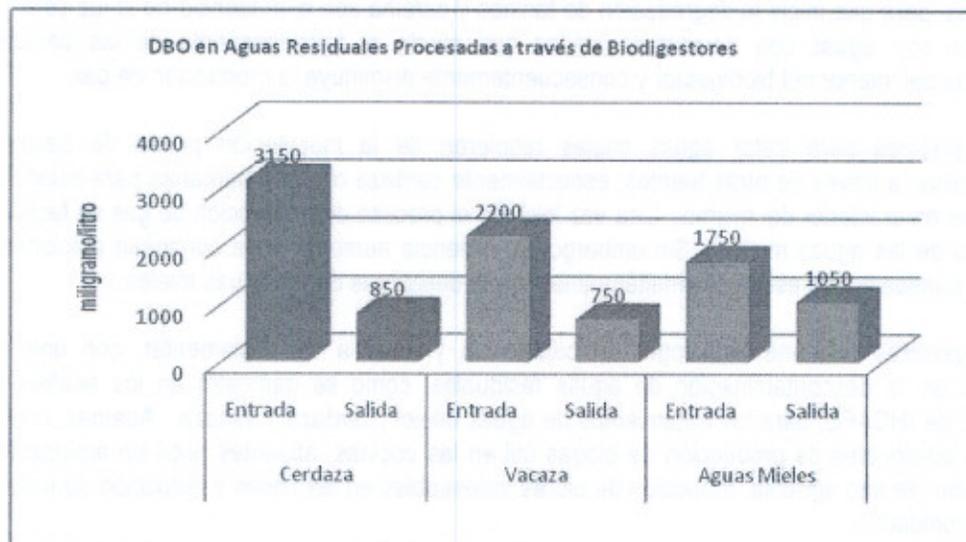


Figura N° 27. Demanda Biológica de Oxígeno

La DQO y DBO, son los parámetros más significativos en la descontaminación de aguas, porque de la disponibilidad de oxígeno en un cuerpo de agua, depende la vida de la flora y fauna del ecosistema, es la razón principal porque las aguas mieles destruyen la vida de las fuentes de agua cuando son vertidas directamente, sin tratamiento previo.

## CAPITULO IV

### Conclusiones

La inoculación de microorganismos aceleró la descomposición de pulpa de café, razón por la cual los tres tratamientos contribuyeron significativamente a la degradación eficiente de la materia orgánica en un período menor o igual a treinta días.

Los costos para el manejo de la pulpa de café son relativamente bajos con cualquiera de los tres tratamientos (Lps 10.25, Lps 8.76 y Lps 5.58 por saco de aproximadamente 60 libras) accesibles a los pequeños, medianos y grandes productores; posibilitando el manejo de altos volúmenes de pulpa de café y reduciendo la contaminación en las zonas cafetaleras de Honduras.

Ninguno de los tres tratamientos generó olores desagradables típicos de la pulpa en descomposición característica que permite mejorar los niveles de aceptación de los productores.

El uso de plástico color negro para cubrir la pulpa bajo tratamiento evitó que existiera proliferación de moscas ya sea por aislamiento o por el incremento en la temperatura del medio. Sin embargo, con el tratamiento con EMA, no se observó ningún tipo de larvas típicas de materias en descomposición, atribuido según los distribuidores de este producto, a la labor que realizan las bacterias fototróficas que eliminan agentes patógenos.

Es necesario dejar reposar las aguas mieles del primero y segundo lavado por un espacio mínimo de 48 horas, para que inicie la degradación de taninos y cafeína con la presencia de la luz solar, de lo contrario son aguas con demasiada acidez que afecta el funcionamiento de las bacterias anaeróbicas del interior del biodigestor y consecuentemente disminuye la producción de gas.

Los biodigestores para tratar aguas mieles requieren de la inoculación previa de bacterias metanogénicas a través de otras fuentes, especialmente cerdaza o heces humanas para estabilizar las colonias en el interior del mismo. Una vez iniciado el proceso de producción de gas se facilita el tratamiento de las aguas mieles. Sin embargo, la eficiencia aumenta si se continúan adicionando pequeñas cantidades de estiércol simultáneamente a la descargas de las aguas mieles.

Los biodigestores son una tecnología de bajo costo y sencilla de implementar, con una alta efectividad en la descontaminación de aguas residuales, como se demostró en los análisis del laboratorio de IHCAFE, para los tratamientos de aguas mieles, cerdaza y vacaza. Además, con los beneficios adicionales de producción de biogás útil en las cocinas, afluentes ricos en aminoácidos con potencial de uso agrícola, reducción de olores indeseables en las fincas y reducción de moscas en las comunidades.

## Recomendaciones

Se necesita continuar con el seguimiento del proceso de investigación especialmente para la descomposición de pulpa de café usando microorganismos, ya que el estudio no alcanzó a realizar aislamientos de microorganismos benéficos y conocer las proporciones de productos en las mezclas que den mayor eficiencia en la descomposición.

Se requiere continuar realizando estudios con la tecnología de biodigestores, para determinar la capacidad necesaria (volumen) a fin de lograr los tiempos de retención mínimos que garanticen tratamientos de desechos orgánicos específicos, de acuerdo con los estándares nacionales e internacionales permisibles para vertidos agroindustriales en fuentes de agua.

Agregar enmiendas de cal y grasas de cocina, a las aguas mieles antes de ingresar al biodigestor, es otro factor a considerar en futuras investigaciones, para encontrar mayor eficiencia en el tratamiento.

La investigación en campo involucrando familias en sus escenarios reales, dificultan el control de los parámetros a medir y se requiere flexibilidad en el proceso. Sin embargo, es una experiencia formidable cuando los resultados son positivos porque facilita la validación y la divulgación. El proceso de intercambio de experiencia se fortalece y se contribuye a la generación de nuevos conocimientos y a la validación de otros. Los productores y/o productoras conocen muy bien la problemática que enfrentan, tienen mucho conocimiento popular que contribuye a reducir riesgos en los procesos.

Para futuras investigaciones, es necesario considerar una disponibilidad mayor de tiempo o flexibilidad para los estudios, ya que un periodo de 6 meses es demasiado corto para realizar todo un proceso, por ejemplo, este trabajo se inició en septiembre, pero la cosecha del café en la zona comenzó en diciembre, sumado a ello atrasos que se presentan con proveedores de productos específicos para las investigaciones y que son poco comunes en el comercio normal.

Es necesario que el proyecto PRIDE en coordinación con los organismos cooperantes y las instituciones y/o investigadores, integremos una red para fortalecer procesos de intercambio de experiencias y mejorar las capacidades a nivel de país para la investigación. Asimismo, crear estrategias para la divulgación y uso de la información, a tal fin que se logre tener impacto en el desarrollo del país a corto, mediano y largo plazo.

Es necesario crear una alianza estratégica involucrando directamente los sectores: estatal, privado y sociedad civil organizada, para incentivar la investigación, no solamente a nivel académico en las universidades. El Proyecto PRIDE ha mostrado eficiencia en el manejo de los recursos, generando conocimientos en tiempos relativamente cortos, en áreas de interés nacional, situación importante para generar un ambiente de credibilidad en los diferentes sectores, es recomendable que PRIDE por la capacidad mostrada y los resultados obtenidos continúe liderando éste proceso.

## Bibliografía

- Botero, R. Aguilar, F.X.; Preston, T.R. 2000 The Biodigester, production of biogas and organic fertilizer from animal manure.
- Luque M,O; 1997. Alternativas económicas para el manejo de residuos orgánicos en centros de reciclaje. Fundación para la investigación agrícola Valencia, Venezuela.
- Enciclopedia básica visual. Editorial: Océano. Tomo VIII. Autor: José A. Vidal.
- Microbiología, Editorial: Prentice Hall; Autor Thomas D. Brock.
- Climent Payá , V.. "Adsorción y reactividad electroquímica de moléculas nitrogenadas sobre superficies mono cristalinas octubre 2006.
- Tchobanoglous, G. Theisen, H; Vigil, S, 1994, Gestión Integral de Residuos Sólidos, Mc Graw Hill. Interamericana de España , s.a. Madrid, 2. Pp. 781 – 785.
- Soto M.G, 2003 Abonos orgánicos, principios y aplicaciones e impacto en la agricultura.
- Microorganismos Eficientes (EM) Higa T. Universidad de Ryukyus, Okinawa, Japón. 1995