

# **Caracterización de los lodos provenientes de las fosas sépticas de Zamorano para la selección de alternativas de tratamiento**

**Sonia Daniela Vásquez Tábor**

**Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano**  
**Honduras**  
Octubre, 2014

ZAMORANO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN AMBIENTE Y DESARROLLO

# **Caracterización de los lodos provenientes de las fosas sépticas de Zamorano para la selección de alternativas de tratamiento**

Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar  
al título de Ingeniera en Ambiente y Desarrollo en el  
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

**Sonia Daniela Vásquez Tábora**

**Zamorano, Honduras**  
Octubre, 2014

# **Caracterización de los lodos provenientes de las fosas sépticas de Zamorano para la selección de alternativas de tratamiento**

Presentado por:

Sonia Daniela Vásquez Tábora

Aprobado:

---

Victoria Cortes, M.Sc.  
Asesora Principal

---

Laura Suazo, Ph.D.  
Directora  
Departamento de Ambiente y  
Desarrollo

---

Lourdes Espinal, Ing.  
Asesora

---

Raúl H. Zelaya, Ph.D.  
Decano Académico

# **Caracterización de los lodos provenientes de las fosas sépticas de Zamorano para la selección de alternativas de tratamiento**

**Sonia Daniela Vásquez Tábor**

**Resumen.** El tratamiento de los lodos de las aguas residuales dependerá de las actividades realizadas en el sitio, parámetros físico químico, volumen de lodo, tiempo de retención y mantenimiento de las fosas sépticas. El presente estudio tiene como objetivo la caracterización fisicoquímica de los lodos en cada una de las fosas sépticas de Zamorano. Se realizaron análisis de Sólidos Totales (ST), Volátiles (VT), Demanda Química de Oxígeno (DQO), pH y temperatura. Se cuantificó el volumen de lodos para cada una de las fosas sépticas y se eligió la alternativa más factible para darle el tratamiento adecuado para su disposición final. El estudio se llevó a cabo durante un período de cuatro meses, para conocer que alternativa proponer para aprovechar y darles un uso adecuado a los lodos en un futuro. Se determinó mediante los resultados obtenidos que las alternativas más factibles para los lodos de las plantas procesadoras es el reactor de mezcla completa sin recirculación y para las domésticas son los lechos de secado.

**Palabras clave:** Estabilización, fosas sépticas, lodo, tratamientos.

**Abstract.** The treatment of sewage sludge depends on the activities conducted at site, while taking into account physical and chemical parameters, sludge volume, retention time and maintenance of septic tanks. The following research aims to characterize the physicochemical parameters of eight septic tanks at Zamorano. Analysis on Total Solids (TS), Volatile Solids (VS), Chemical Oxygen Demand (COD), pH and temperature were performed. Sludge volume for each of the septic tanks was calculated and a disposal treatment alternative was chosen. The study was conducted over a period of four months in order to propose alternatives to take advantage of and give the sludge proper use. According to the results, the feasible alternatives for sludge treatment on the processing plants are the mixed reactor with no recirculation and for domestic plants, drying beds is the alternative recommended.

**Keywords:** Septic tanks, sludge, stabilization, treatments.

## CONTENIDO

Portadilla.....	i
Página de firmas .....	ii
Resumen .....	iii
Contenido .....	iv
Índice de cuadros, figuras y anexos.....	v
<b>1 INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2 MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>4</b>
<b>3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>10</b>
<b>4 CONCLUSIONES.....</b>	<b>19</b>
<b>5 RECOMENDACIONES.....</b>	<b>20</b>
<b>6 LITERATURA CITADA.....</b>	<b>21</b>
<b>7 ANEXOS.....</b>	<b>25</b>

## ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros	Página
1. Localización de sitios de muestreos de lodos en las fosas sépticas de Zamorano.....	4
2. Instrumento Draga de Petersen.....	5
3. Promedios del pH de cada una de las fosas sépticas de Zamorano .....	13
4. Promedios de DQO en cada una de las fosas sépticas.....	14
5. Promedios de Sólido Volátiles de cada una de las fosas séptica de Zamorano.....	15
6. Lecho de secado de lodos .....	17
7. Digestor anaerobio con mezcla completa.....	18

Figuras	Página
1. Localización de sitios de muestreos de lodos en las fosas sépticas de Zamorano.....	4
2. Instrumento Draga de Petersen.....	5
3. Promedios del pH de cada una de las fosas sépticas de Zamorano .....	13
4. Promedios de DQO en cada una de las fosas sépticas.....	14
5. Promedios de Sólido Volátiles de cada una de las fosas séptica de Zamorano.....	15
6. Lecho de secado de lodos .....	17
7. Digestor anaerobio con mezcla completa.....	18

Anexos	Página
1. Medición del nivel de lodos de las fosas domésticas .....	25
2. Fosas sépticas de Lácteos .....	25
3. Medición de lodos en la fosa séptica de la planta procesadora de Lácteos.....	26
4. Fosa séptica de la planta procesadora de Cárnicos.....	26

# 1. INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales se caracterizan por su contenido de desechos orgánicos e inorgánicos provenientes de actividades domésticas o industriales las cuales poseen altos niveles de contaminación dando como resultado efectos negativos para la salud y el medio ambiente. En algunas ocasiones son el único recurso hídrico de las comunidades pobres que subsisten por medio de la agricultura (OMS 2014).

Uno de los tratamientos utilizados comúnmente en pequeñas poblaciones son las fosas sépticas. Estas son cámaras herméticas donde se acumulan las aguas residuales, y se les da un tratamiento primario, el cual consiste en la remoción de materias orgánicas e inorgánicas por medio de técnicas de sedimentación y los sólidos flotantes (aceites y grasas). Estos son removidos por medio de limpiezas realizadas por el personal de mantenimiento (Lesikar y Enciso 2000). Los sedimentos son llamados también lodos, los cuales son desechos semisólidos que provienen de diferentes tipos de aguas residuales sean estas domésticas, industriales o urbanas (Luegue, 2007).

Los lodos pueden estar compuestos de materia orgánica, metales pesados (Cd, B, Pb, Ni, Hg, Ag), gases como el sulfuro de hidrogeno ( $H_2S$ ), metano ( $CH_4$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ), entre otros y con presencia de microorganismos patógenos (Lienard y Payrastre, 1996). En la actualidad se utilizan los lodos estabilizados (digestión alcalina, anaerobia y aeróbica) para la aplicación en suelos como abonos, compostaje para las plantas, entre otros. De igual manera, son utilizados para la generación de energía y como material de cobertura combinados con otros elementos como el cemento (Richard et al. 1996).

El tratamiento de los lodos consiste en la eliminación de problemas tales como: altos niveles de humedad, olor desagradable, agentes contaminantes y generación de elementos peligrosos, lo cual puede ocasionar riesgos a la salud humana y al medio ambiente. Es fundamental conocer las características de los lodos que se van a tratar, así como su procedencia y volumen previo a la selección de alternativas de los tratamientos para su disposición (García 2003).

Para la caracterización de lodos es necesario evaluar sus atributos físicos, químicos y biológicos. Dentro de algunas características de los lodos se encuentran el tipo de nutrientes, sustancias químicas y materiales pesados que varían con el tipo de operación o procesos de aguas residuales, y nos permiten conocer el grado de contaminación y la determinación del tratamiento apropiado (Barrios, 2009). En el cuadro No.1 se puede observar algunos parámetros físico-químicos que se utilizan para determinar el grado de contaminación y estabilización de los lodos provenientes de las fosas sépticas, así como los valores sugeridos por la EPA en 1984.

Cuadro 1. Características físicas y químicas de los lodos de tanques sépticos

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rango máximo EPA</b>	<b>Rangos menores EPA</b>
DQO	mg/l	42, 850	15,000
Solidos totales (ST)	mg/l	38,800	40,000
Solidos volátiles (SV)	mg/l	25,260	25,000
Solidos suspendidos totales (SST)	mg/l	13,000	15,000
pH		6.9	6.0

Fuente: Water Quality Standards Handbook EPA (1984).

El tratamiento de los lodos procedentes de las fosas sépticas lleva procesos o métodos de disposición que implican la sedimentación de las partículas de sólidos por gravedad. Así mismo, la estabilización de lodos consiste en la reducción de materia orgánica mediante el proceso de digestión anaerobia, en donde los microorganismos metanogénicos transforman esta materia en gases (Bermudez 1998). Estos tratamientos biológicos permiten reducir el peso y el volumen del lodo. Otros procesos utilizados son la deshidratación de lodos por filtros de banda, lecho de secado de lodos, lagunas de lodos y estabilización por cal. Estos sistemas se utilizan dependiendo el origen y la disposición final que se les dará (Tchobanoglous 2001). Se cuenta con alternativas de disposición final de lodos, siendo de las más comunes el relleno sanitario, fabricación de compost o abono que pueden aplicarse en la tierra (EPA 1984). Para la selección de alternativas es necesario conocer sus características físico-químicas, corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas y biológicas- infecciosas, lo que permitirá considerar si el lodo es un residuo peligroso o no peligroso (Oropeza 2006).

La Escuela Agrícola Panamericana (EAP) cuenta con ocho fosas sépticas, las cuales presentan la siguiente ubicación: una en la planta procesadora de lácteos, dos en la planta procesadora de cárnicos, cuatro en las residencias de campus alto y una en Ciencia y Producción Agropecuaria (CIA) –Hortofrutícola. Las mismas reciben las aguas residuales industriales o domésticas según su ubicación, en ellas se realiza la separación y degradación de la materia orgánica contenida.

Solamente se cuenta con el estudio realizado por Ochoa (2009) como antecedente de la caracterización físico-química o alternativas para el tratamiento de los lodos producidos en la fosa séptica de Cpa– Hortofrutícola. El estudio evalúa su aplicabilidad en la producción de abono orgánico, demostrando que existe viabilidad tomando como base la relación Carbono: Nitrógeno (C:N), contenido de materiales pesados y patógenos obtenida en los resultados.

La Dirección de Planta Física y Servicios de la EAP realiza labores de limpieza en las fosas sépticas para evitar la acumulación de lodos y el desarrollo de malos olores. Esta actividad, no se realiza de manera apropiada ya que solamente se ejecuta cada vez que la fosa séptica lo necesita. Cuando las fosas sépticas se encuentran llenas y la producción de malos olores se incrementa, los lodos son succionados por una bomba y trasladados a las

lagunas de estabilización. Esta actividad es realizada por la empresa Monsol ubicada en Tegucigalpa-Honduras, la cual es contratada por la Dirección de Planta Física.

El presente estudio tiene como objetivo la selección de alternativas de tratamiento que permitan aprovechar los lodos producidos en el campus de Zamorano, para lo cual se realizará la caracterización físico-química de muestras de lodo y la cuantificación del volumen de lodos para cada fosa Finalmente, se seleccionarán las alternativas de tratamiento apropiadas para este tipo de residuos, y sus respectivas recomendaciones conforme a lo descrito en literatura. Las alternativas de tratamiento de lodos en las fosas sépticas representan una oportunidad para la EAP para garantizar la disponibilidad a futuro y alargar la vida útil de las lagunas de estabilización a mediano y largo plazo. De igual manera, la caracterización físico-química y la cuantificación del volumen de lodos de las fosas sépticas se realizan con el propósito de conocer la necesidad del tratamiento y disposición final para seleccionar la alternativa apropiada.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización del estudio.** El estudio se realizó entre Abril y Septiembre de 2014 en el Departamento de Francisco Morazán, Valle de Yeguaré en la EAP. Las fosas sépticas se localizan en las plantas procesadoras de lácteos y cárnicos, residencias de Campus Alto y Ciencia y Producción Agropecuaria (CIA) –Hortofrutícola (Figura 1).

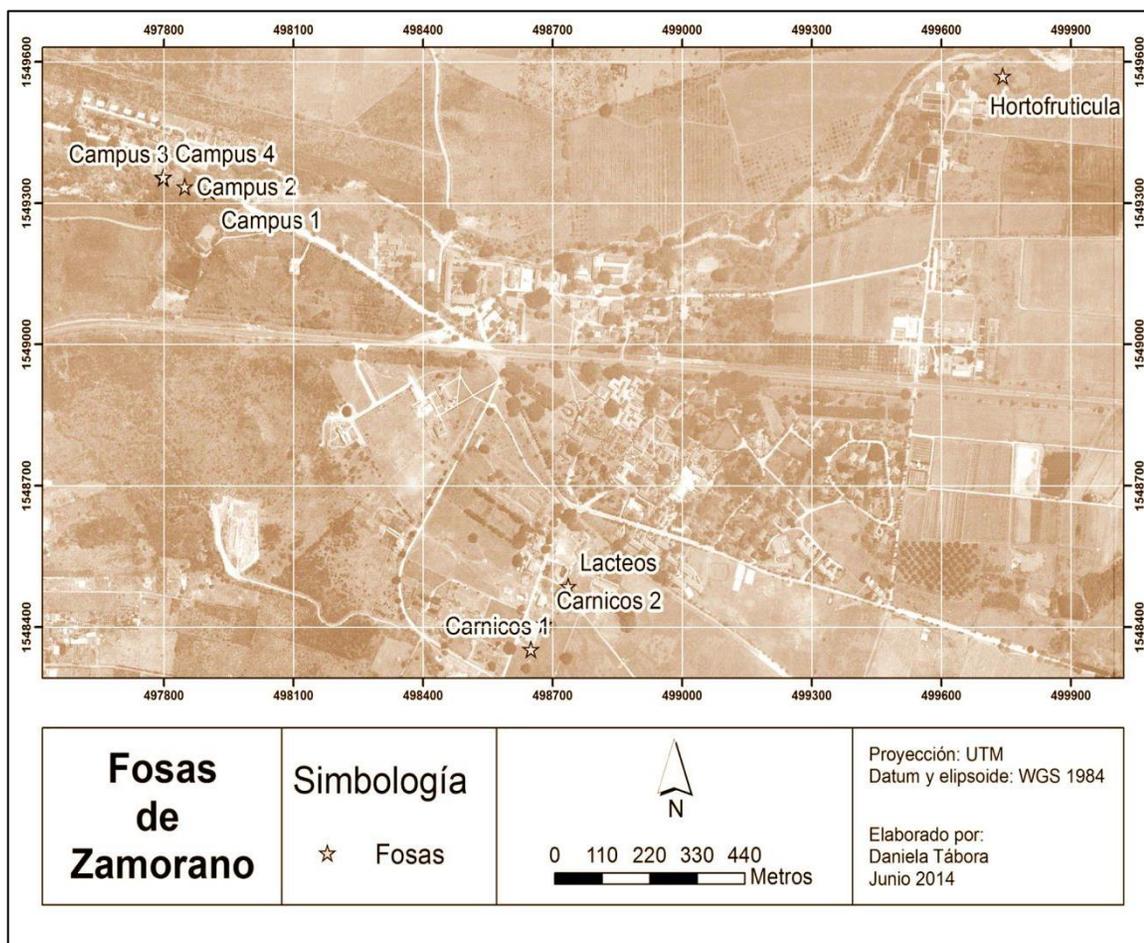


Figura 1. Localización de sitios de muestreo de lodos en las fosas sépticas de Zamorano.

**Toma de las muestras.** El desarrollo del estudio se realizó con un muestreo puntual aleatorio con un total de 22 muestras, se tomaron tres muestras para las fosas de lácteos, campus alto y CIA-Hortofrutícola, dos muestras para la planta procesadora de cárnicos. Muestras de 1000 mL fueron recolectadas en bolsas con cierre hermético de 35 x 57 cm debidamente rotuladas. La recolección de muestras de lodos se realizó en el fondo de las fosas sépticas a una profundidad promedio de 2.5 m, con un instrumento conocido como Draga de Petersen. Este instrumento es adecuado para la captación de lodos duros de arena, grava, arcilla y sedimentos similares (Figura 2). El mismo es parecido a una caja rectangular que se cierra en el fondo por dos quijadas que se operan por fuertes resortes, las cuales durante la extracción se mantienen cerradas por la presión del agua (APHA, AWWA y WPCF 1960). Luego las muestras fueron trasladadas al laboratorio de la Carrera de Ambiente y Desarrollo donde cada una fue homogenizada y preservada a una temperatura menor de 5°C hasta su análisis.



Figura 2. Instrumento Draga de Petersen

**Cuantificación del volumen.** Se midieron los lodos de las fosas sépticas según estudios de batimetría en lagunas de estabilización (Stewart 2005). Para la cuantificación del volumen de lodos, se registraron las dimensiones de cada una de las fosas sépticas, las cuales son presentadas en el cuadro 2. Se eligieron 3 puntos para la recolección de las muestras. Posteriormente se midieron los niveles de lodos con un trozo de madera de aproximadamente tres m de largo. El trozo de madera se sumergió en varias ocasiones hasta que se logró percibir contacto con el fondo de la fosa, teniendo cuidado en no ejercer tanta presión para no alterar los datos de altura de los lodos. Para finalizar, se elaboraron los cálculos con el largo (m) x ancho (m) x altura de los lodos (m) para luego obtener un promedio total del volumen de lodos en cada una de las fosas sépticas.

Cuadro 2. Dimensiones de las fosas sépticas del Zamorano.

Fosas sépticas	Dimensiones			
	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Volumen Total (m <sup>3</sup> )
Lácteos	9.40	5.80	2.90	158.11
Cárnicos 1	5.30	3.90	2.20	45.47
Cárnicos 2	4.80	3.10	2.30	34.22
CIA-Hortofrutícola	5.00	2.30	2.20	25.30
Campus Alto 1	2.30	1.60	1.70	6.26
Campus Alto 2	3.10	2.30	1.50	10.70
Campus Alto 3	2.60	1.60	1.20	4.99
Campus Alto 4	10.00	2.80	2.40	67.20

**Análisis fisicoquímico.** Las muestras fueron caracterizadas conforme a la metodología expuesta por el Standard Methods (APHA 2005) resumiendo los ensayos realizados el Cuadro 3. Para el análisis de ST y SV se realizaron cuatro repeticiones en cada uno de los puntos de muestreos de las fosas sépticas. La DQO se realizó utilizando muestras filtradas y no filtradas, con un factor de dilución de 167 para las plantas procesadoras de cárnicos y lácteos y para las fosas domésticas un factor de dilución de 125, ya que la concentración de materia orgánica en los lodos varió dependiendo de la fuente. Así mismo, se hicieron cuatro repeticiones del análisis de SST. La estimación de temperatura el termómetro de mercurio y pH fue mediante el pcstestr 35 Multi-parameter.

Cuadro 3. Métodos y parámetros fisicoquímicos utilizados en el análisis de los lodos provenientes de las fosas sépticas de Zamorano.

Tipo de análisis	Método	Literatura
Análisis DQO	Reactor Digestión Method 1 Método 8000	HACH 2007
Solidos Totales	2540 B. Total solids	APHA, 2005
Solidos volátiles	2540 E. Fixed and volatile solids	APHA, 2005
Solidos fijos	2540 E. Fixed and volatile solids	APHA, 2005
Solidos suspendidos	2540 D. Total suspended solids	APHA, 2005

Fuente: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (APHA 2005)

**Generación de lodos.** Es importante saber la cantidad de lodos que se produce al año para darle un almacenamiento y sobre todo la eliminación o tratamiento adecuado dependiendo del tipo de lodo que se va tratar.

Por lo tanto para conocer la cantidad de volumen de lodos se produce al mes o al año se investigó las fechas de limpieza y la realización de muestreos en diferentes días de cada fosa séptica (Cuadro 4).

Cuadro 4. Fechas de toma de muestras y limpieza de las fosas sépticas

<b>Fosas sépticas</b>	<b>Fecha de la toma de muestras de lodos</b>	<b>Limpieza de las fosas sépticas</b>
Cárnicos 1	19 de abril	1 de febrero
Cárnicos 2	19 de abril	1 de febrero
Lácteos	19 de abril	
Cpa- Horto	25 de abril	Nov del 2013
Campus alto 1	25 de abril	1 de enero 2012
Campus alto 2	25 de abril	1 de enero 2012
Campus alto 3	25 de abril	1 de enero 2012
Campus Alto 4	20 de mayo	Oct de 2013

**Alternativas de tratamiento de lodos.** Para la selección de alternativas se tomaron en cuenta los datos del análisis fisicoquímico realizado en el laboratorio, la categorización de los lodos conforme a sus características (Cuadro 5); así como la información obtenida mediante revisión de literatura y resultados de investigaciones en temas afines (Cuadro 6).

Cuadro 5. Características de lodos en fosas sépticas

<b>Tipos de Lodos en fosas sépticas</b>	<b>Características</b>
Lodo primario o crudo	Son los sedimentos de los tanques primarios. Gran cantidad de materia orgánica. Porcentaje de agua del 93 y 97%. En algunos casos tienen olores ofensivos. Pueden ser de color gris y viscoso. Produce el doble de gas metano al igual que los lodos activados. Puede ser digerida fácilmente bajo operaciones adecuadas.
Lodo digerido	Son estabilizados por procesos aeróbicos o anaeróbicos y son de color negro con un porcentaje de materia orgánica del 45 al 60 %. Contiene gran cantidad de gases cuando se encuentran bien digeridos. Su olor no es ofensivo

Autor: Méndez *et al.* 2007.

Así mismo, se entiende que la estabilización de los lodos es un proceso que disminuye la tasa de descomposición de la materia orgánica, dejando el material con condiciones óptimas en humedad y temperatura para luego ser deshidratado. El porcentaje de estabilización del lodo es de aproximadamente del 45 al 60% (Navia *et al.* 2002).

Cuadro 6. Alternativas de tratamiento de lodos

Alternativas de tratamiento de lodos	Aspectos para la toma de decisiones					
	Disminución humedad	Reducción malos olores	Reducción DQO	Reducción contenido patógeno	Altos costos de inversión	Estabilización M.O
Reactor de manto de lodos (Gonzales et al. 1994).	x		x		x	x
Estabilización con cal (Tchobanoglous 2000)		x		x		x
Lechos de secado (Tchobanoglous (2000)	x					
Laguna de lodos (Tchobanoglous 2000)	x					x
∞ Reactor aerobio tipo biodiscos (Alvarez y Hermogenes 2006)		x	x		x	x
Reactor de mezcla completa sin recirculación (Flores <i>et al.</i> 2008).		x				x

Según los análisis fisicoquímicos y la literatura consultada se puede mencionar que se consideraron seis alternativas para el tratamiento de los lodos de las fosas sépticas, estas son **Reactor de manto de lodos**. Es un tanque simple que se utiliza para el tratamiento de aguas industriales. Estas aguas llegan al fondo del reactor y fluyen hacia arriba formando una capa de lodo suspendida, con una concentración de microorganismos que ayudan a degradar la materia orgánica. Como resultado liberan gases como metano y dióxido de carbono (Gonzales *et al.* 1994). **Estabilización con cal**. Este proceso consiste en añadir cal al lodo crudo para subir el pH a 12, creando una reducción de patógenos y de malos olores, debido a este tratamiento el lodo sería depositado al relleno sanitario. **Laguna de lodos**. Se utiliza para deshidratar el lodo estabilizado, combinando la sedimentación con la evaporación. Produce olores ocasionales, moscas y mosquitos y contiene grandes concentraciones de amoníaco lo cual ayuda a la inactivación de patógenos, especialmente huevos de helmintos Tchobanoglous, G. 2000. Estas son utilizadas en algunos países como Costa Rica, El Salvador, Guatemala Y Honduras.

**Reactores anaerobios tipo biodisco**. Está formado por varios discos paralelos que son sumergidos en el tanque séptico, este ayuda a estabilizar la materia orgánica. (Metcalf y Eddy 2003). **Lecho de secado de lodos**. Ayuda a la deshidratación de lodos, que se pueden utilizar como material de relleno o fertilizante. **Reactor de mezcla completa sin recirculación**. Este tipo de reactor se caracteriza por que mantiene una distribución homogénea de los microorganismos y materia orgánica. Esto se debe mediante un sistema de agitación (IDAE 2007). De igual forma, se consideraron otros factores como la disminución de humedad, reducción de malos olores, reducción DQO, reducción del contenido patógeno, altos costos de inversión y estabilización de la materia orgánica. Se comparó los parámetros mencionados anteriormente con las condiciones actuales de los lodos para la toma de decisiones y elegir las alternativas más factibles para su tratamiento.

**Análisis Estadístico**. Se realizó el promedio de los resultados de laboratorio obtenidos para cada muestra, y su respectiva desviación estándar para la posterior discusión y representación gráfica de los resultados. Cabe resaltar que las muestras de lodos pueden presentar una elevada heterogeneidad y que dependiendo del tipo de fosa séptica monitoreada se obtendrán diferentes características.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**Cuantificación del volumen del lodo.** Según las mediciones realizadas en cada una de las fosas sépticas se puede observar según el (Cuadro 7) que el rango del volumen de lodos acumulados en las domesticas son del 0.50 al 14.65 m<sup>3</sup>, siendo la fosa de campus alto 1 la que menor volumen de lodos acumula y la fosa de campus alto 4 que presenta una acumulación atípica de lodos. Entre las características de las muestras de lodo tomadas en estos puntos, se puede mencionar que no presentaban malos olores fuertes y su color era negro. Estos lodos presentaron una mayor estabilización debido a que contaban con un mayor tiempo de retención en la fosa, lo que ha permitido que exista una mayor degradación de la materia orgánica por parte de las bacterias anaeróbicas. (Philip *et al.* 1993). Así mismo, los valores bajos en volumen de lodo acumulado se deben a que una menor cantidad de habitantes aporta a esta fosa, y adicionalmente la limpieza por la empresa Monsol se realizó en forma reciente previo a la cuantificación de los mismos en la fosa

La fosa de lácteos presentó una acumulación atípica de sólidos de 95.05 m<sup>3</sup>. Las muestras tomadas en este punto presentaron características particulares como su coloración gris, blanco y café y malos olores característicos de los procesos de descomposición de la materia orgánica. Esto se debe a que la misma no ha sido degradada en su totalidad por las bacterias anaeróbicas. Adicionalmente, no se registran actividades de limpieza dando como resultado que las fosas sépticas se encuentran sobrecargadas y no cumpla con los requisitos mínimos de desempeño. Entendiendo que los lodos corresponden a la acumulación de partículas que han sedimentado como resultado del tratamiento primario, a los sólidos presentes en la fosa de la plata de lácteos no se les puede clasificar dentro esta categoría, ya que estos son producidos por la coagulación de los residuos de suero y otros componentes presentes en el agua residual producida por esta actividad industrial. Sus características, y por lo tanto su tratamiento, diferirá de los lodos obtenidos en fosas que recolectan agua residual doméstica.

Adicionalmente se hace notar la diferencia existente entre las fosa de cárnicos 1 y cárnicos 2; cada fosa tiene diferente procedencia de aguas residuales. En la primera solo llegan las aguas utilizadas en las llaves, servicios, limpieza de la planta, en cambio la segunda recolecta aguas utilizadas en los rastros o mataderos que vienen con alta materia orgánica como ser grasa, estiércol, pelo, sangre, trozos de carnes y vísceras por el cual presentaron promedios diferentes debido a las características propias del lugar.

Por otro lado, la fosa de Cpa-Horto presentó un volumen de sólidos de 6.82 m<sup>3</sup> y un volumen de agua promedio de 8.51 m<sup>3</sup>, valor cercano al volumen de lodos presentes. Lo anterior se debe a que no se les ha estado realizando las limpiezas adecuadas por lo tanto es conveniente realizar bombeos periódicos del volumen final del lodo producido (Quintal 1993). El resumen de los resultados de cuantificación de volumen de lodos se presenta en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Volumen de lodos y agua de cada una de las fosas sépticas

<b>Fosas Sépticas</b>	<b>Promedios Volumen de lodos m<sup>3</sup></b>	<b>Promedios volumen de agua m<sup>3</sup></b>
Cárnicos 1	3.93	14.99
Cárnicos 2	2.83	9.30
Lácteos	95.05	0.00
Cpa-Horto	6.82	8.51
Campus Alto 1	0.50	2.65
Campus Alto 2	1.97	4.44
Campus Alto 3	1.86	2.27
Campus Alto 4	14.65	19.88

**Análisis Físicoquímico.** Los análisis realizados permitieron determinar las características del residuo (lodos) que deben ser consideradas al momento de seleccionar apropiadamente una alternativa de tratamiento. Existe variabilidad en las muestras de lodos recolectadas la cual se debe principalmente a la naturaleza de las actividades industriales o domésticas que preceden la generación del residuo y a la dinámica de transformaciones bioquímicas del lodo dentro de la fosa séptica. El promedio de los resultados obtenidos en laboratorio se resumen en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Parámetros Físicoquímico de lodos en las fosas sépticas El Zamorano.

Fosas Sépticas	ST %	SV (ST) %	SST%	DQO (mg/l)		pH	T (°C)
				Filtradas	Sin filtrar		
Cárnicos 1	9.44±6.63	51.99±1.30	8.66±3.80	3306	37091	6.35±0.40	34.00±0.67
Cárnicos 2	10.55±0.35	61.67±0.94	7.22±1.68	11948	105889	7.25±0.12	31.30±0.81
Cpa-Horto	41.86±21.97	18.97±13.17	14.92±4.98	9212	50244	6.77±0.20	29.30±0.16
Campus alto 1	30.35±1.35	32.97±2.28	8.51±2.89	7899	64720	6.30±0.29	28.42±0.12
Campus alto 2	31.46±1.15	31.09±1.85	12.03±1.13	5825	50449	6.13±0.38	27.29±0.06
Campus alto 3	39.99±0.45	25.20±0.35	11.52±32.06	6515	80607	6.77±0.07	27.35±0.11
Campus alto 4	33.95±5.76	27.08±3.36	6.36±2.62	5528	54599	7.40±0.07	26.98±0.12

**Sólidos Totales.** Al Realizar el análisis físico químico del muestreo, se encontró una variabilidad en el de contenido materia seca (solidos totales) de los lodos recolectados en las fosas sépticas. Los lodos de origen doméstico (Campus Alto), y de la fosa de Cpa-Horto, presentaron valores dentro del rango de 30 al 43%. En comparación a los lodos obtenidos de las fosas sépticas restantes, estos lodos presentaron un mayor grado de estabilización, en donde el contenido de solidos volátiles se ha reducido (lo cual concuerda con los resultados de DQO obtenidos) y se observó un incremento de la viscosidad y densidad del lodo.

Los resultados obtenidos en las fosas sépticas de las plantas procesadoras de cárnicos y lácteos presentaron un rango del 10 al 24% con una menor proporción de materia seca, pero en su mayoría sólidos volátiles, indicando una mayor proporción de materia orgánica. Estas características concuerdan con lodos de baja viscosidad, voluminosos, con presencia de malos olores y diferente coloración, que fueron los atributos observados durante el muestreo.

**pH.** Este parámetro se midió *in situ* durante la recolección de las muestras. Los valores registrados se encuentran entre el rango de 6.13 a 7.40, siendo estos valores apropiados para el proceso de digestión anaerobia recomendado en la estabilización de los lodos para las fosas sépticas (Alvarez 2000).

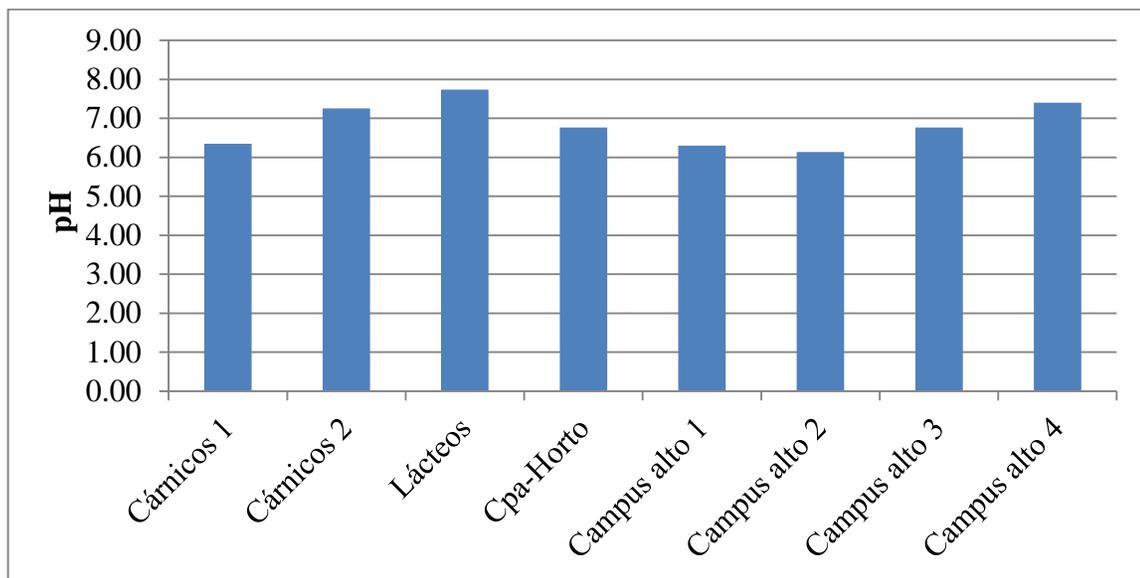
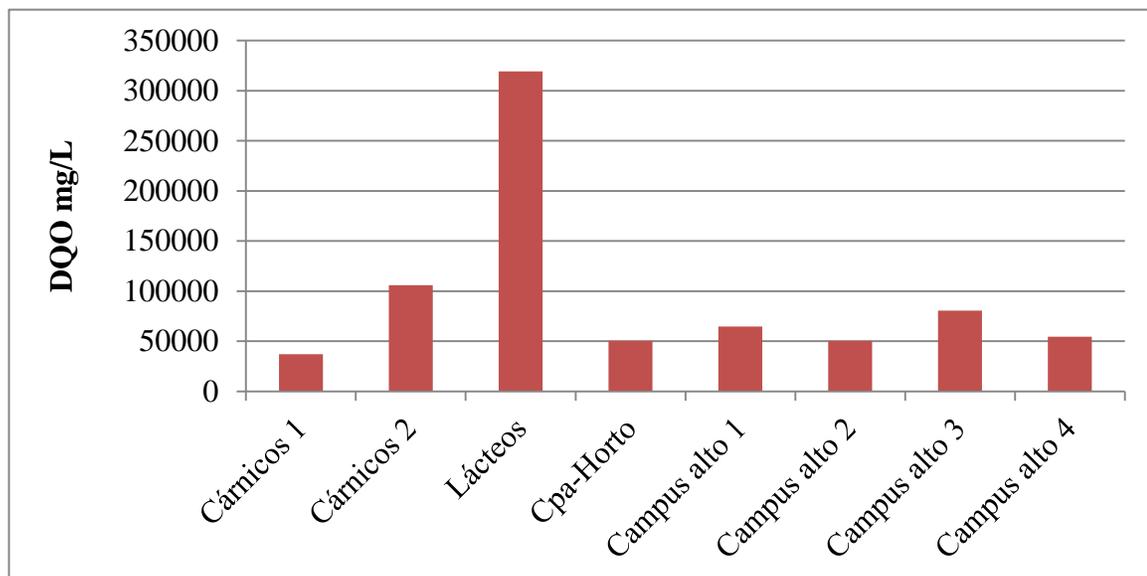


Figura 3. Promedios del pH de cada una de las fosas sépticas de Zamorano

Todas las fosas sépticas sin contar lácteos cuentan con buenas condiciones de pH para la digestión anaerobia y la presencia de microorganismos metanogénicos (formadoras de carbono) debido a que el material solido presente está en un buen rango de estabilización (Lorenzo y Obaya 2005).

**Temperatura.** La temperatura es otro parámetro que se tomó *in situ* al momento de recolección de muestra, presento valores obtenidos entre 27 a 34°C que corresponde al rango mesofílico favorable para que las bacterias puedan degradar la materia orgánica.

**DQO y SV.** Son los parámetros determinantes en la evaluación y la disposición de los lodos residuales y su utilización final. Estos parámetros se utilizan como indicadores de la materia orgánica presente en los lodos (Samboni *et al.* 2007). Uno de los principales objetivos del tratamiento de los lodos es la estabilización de la materia orgánica cuantificada en término de los sólidos volátiles y/o la DQO.



.Figura 4. Promedios de DQO en cada una de las fosas sépticas

El gráfico anterior nos muestra importantes variaciones en los resultados de DQO de cada una de las fosas sépticas. La muestra tomada en la fosa séptica de planta de lácteos presentó una mayor concentración de sólidos volátiles, indicando la cantidad de materia orgánica presente. Esta característica en adición a los valores de DQO obtenidos, y atributos organolépticos (principalmente olor y color) son indicadores del bajo nivel de estabilización del lodo. En menor grado se obtiene un resultado similar con las muestras de lodos tomadas en las fosas de la planta de cárnicos.

En los gráficos de Cpa-Horto y Cárnicos 1 se puede observar que las menores concentraciones de DQO obtenidas concuerdan con los resultados de sólidos volátiles, y estos a su vez corresponden a las muestras tomadas en las fosas sépticas de Campus alto, afirmando lo expresado en el apartado previo de sólidos totales. Las fosas domesticas están en un rango establecido en la estabilización de la materia orgánica según Navia *et al.* 2002).

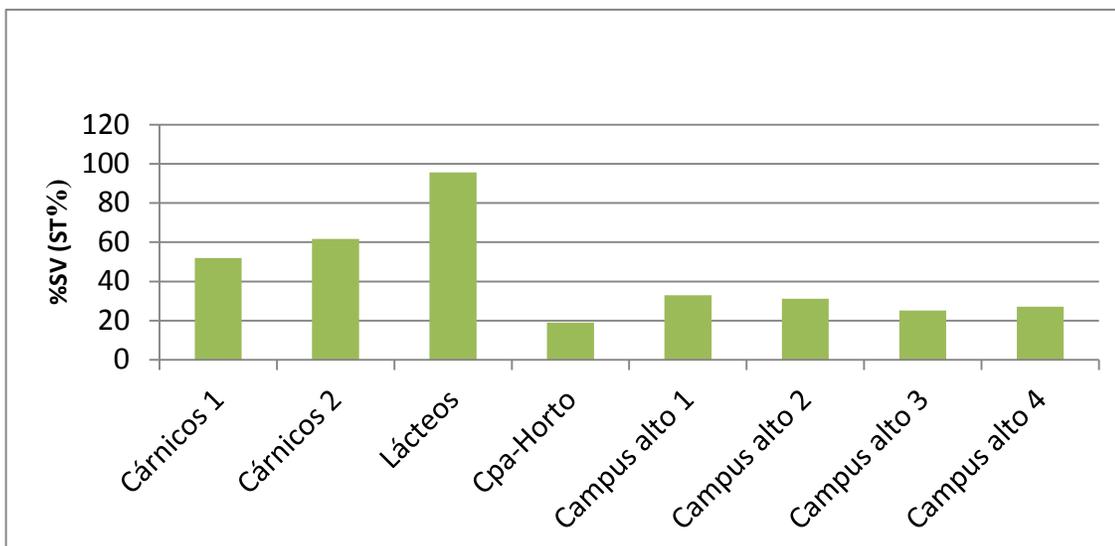


Figura 5. Promedios de Sólido Volátiles de cada una de las fosas séptica de Zamorano

Como hallazgo importante de la comparación de estos resultados se menciona la necesidad de un tratamiento especial para el residuo acumulado en la fosa de la planta de lácteos, ya que este requerirá una mayor atención en la estabilización de la materia orgánica, control de olores, volumen y pH. Así mismo, se deberán tener estas consideraciones con los lodos retirados de las fosas de cárnicos. Las otras fosas sépticas no presentan esta problemática, por lo que se puede considerar como tratamiento final alguna alternativa de deshidratación.

**Propuestas consideradas.** Conforme a la literatura revisada y las características del residuo analizado, se realiza la selección de dos alternativas para el tratamiento de lodos. Adicionalmente, el cálculo de la generación de lodos en las fosas sépticas debe ser considerado en la selección del tratamiento según el Cuadro 9.

Cuadro 9. Volumen de lodos generados en las fosas sépticas de El Zamorano

Fosas Sépticas	Vol. Generado (m <sup>3</sup> /mes)	Vol. generado (m <sup>3</sup> /año)
Cárnicos 1	1.97	23.58
Cárnicos 2	1.42	16.98
Lácteos	1.13	13.58
Cpa-Horto	1.36	16.37
Campus alto 1	0.02	0.21
Campus alto 2	0.07	0.82
Campus alto 3	0.06	0.77
Campus Alto 4	2.09	25.11

Para la determinación de la generación de lodos se tomó en cuenta el volumen de lodos presentes en las fosas sépticas y se dividieron los meses que se tomaban como referencia el día de limpieza y la fecha de la toma de muestras y luego se realizó la conversión para años. El contenido de lodos o el volumen de lodos presentes en las fosas dependerá de las limpiezas periódicas que se les brinda, el contenido de sólidos presentes en las aguas residuales, el número de habitantes procedentes del sitio y también de la eficiencia de las fosas sépticas en la estabilización de la materia orgánica sedimentada, considerando que estas no deben operar sobrecargadas para que tengan un funcionamiento óptimo.

**Alternativa 1: Lechos de secado.** Se eligió esta alternativa para la deshidratación del lodo retirado de las fosas de Campus Alto y Cpa-Horto (Figura 3). Los lechos de secado son estructuras elaboradas de concreto o puede ser de otro tipo de material. Esta tecnología ayuda a deshidratar lodos. Este tipo de tratamiento no es apropiado para lodo crudo ya que puede presentar grandes problemas como malos olores y proliferación de insectos (Orozco *et al.* 1985).

**Operación.** Los lodos son depositados a unos 25 cm de espesor dentro del lecho de secado. Una vez depositados, el agua comienza a drenar a través de tuberías internas que transportan la fracción líquida o lixiviada del lodo a un drenaje donde será integrado al sistema de tratamiento de agua residual del Campus. Con el tiempo (exposición al sol y lixiviación) se observará un lodo más pobre en agua, menor volumen y con formación de grietas. El tiempo de secado depende completamente de las condiciones climáticas por lo tanto esta actividad debe ser programada durante la época seca del año. Como resultado, este tratamiento reducirá el contenido del agua del 90 al 95 % (OMS 1995).

El lodo deshidratado puede ser reincorporado al suelo o como parte de procesos de compostaje luego de verificar la ausencia de microorganismos patógenos. Una opción adicional es su disposición final en el relleno sanitario en caso de verificar que las condiciones no son apropiadas para las actividades previamente descritas.

Este tratamiento presenta ventajas como el fácil mantenimiento de la estructura y la operación, ya que no se requiere de personal especializado para su operación. Para el control del lecho de secado es necesario hacer una verificación visual del líquido que ha salido de los lodos a la red de drenaje para obtener un mayor rendimiento de secado en los lodos. También es necesario hacer un volteo del lodo cada siete días. La persona encargada debe llevar un control o registro diario del descenso de la carga de lodo. Una de las desventajas principales del lecho de secado es que puede generar malos olores lo cual depende del clima y el filtrado del agua que contiene el lodo (OMS 1995).



Figura 6. Lecho de secado de lodos  
Autora: Claudia Patricia Gomez 2012

**Alternativa 2: Digestor anaerobio con Mezcla completa.** Las características de los lodos de las fosas sépticas de las plantas procesadoras de lácteos y cárnicos contienen elevadas concentraciones de DQO, malos olores, mayor cantidad de sólidos volátiles por lo tanto se le debe de dar un tratamiento adecuado para su debida estabilización de materia orgánica. Dicho lo anterior se seleccionó un tanque tipo reactor que mantiene los lodos homogéneos o uniformes para que las bacterias anaeróbicas degraden mejor la materia orgánica (Figura 8). Esta tecnología funciona con un sistema de agitación mecánica constante (palas, hélices). Son depositados o llevados los lodos que tienen alta carga orgánica (Madrid 2007).

Los digestores anaerobios son utilizados principalmente en las plantas industriales, trabajan a temperaturas mesofílicas (20 a 40°C), o termofílicas (más de 40°C) contienen un motor para el sistema de agitación; en la superficie del tanque hay una mezcla de gases fundamentales como metano ( $\text{CH}_4$ ) dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) pequeñas cantidades de hidrogeno (H), sulfuro de hidrogeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y nitrógeno (N) constituyentes en el proceso vital de la materia orgánica. Esta tecnología brinda beneficios como respuestas finales en calor, electricidad para ser depositados en lechos de secado para su debida deshidratación (Hilbert 2013).

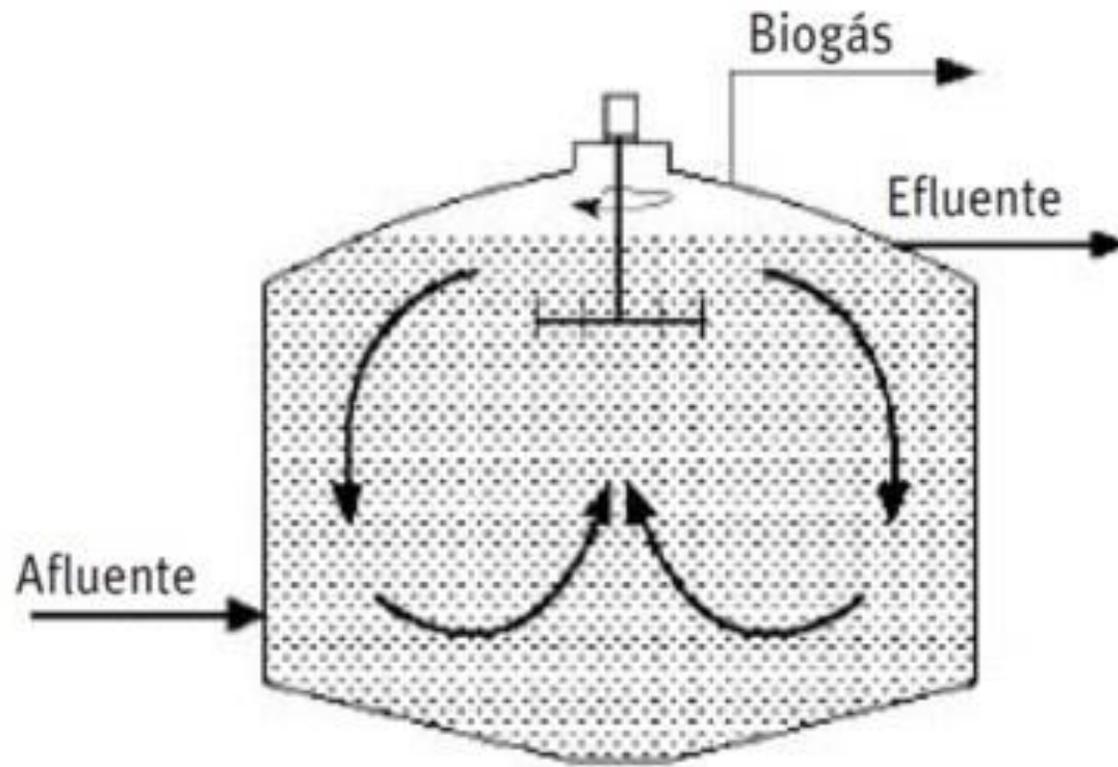


Figura 7. Digestor anaerobio con mezcla completa  
Fuente: Metcalf y Eddy 2003

## 4. CONCLUSIONES

- No se puede generalizar un único tratamiento para todas las fosas sépticas debido a que no todos los lodos de las fosas sépticas domésticas y de las plantas procesadoras presentan rangos iguales de estabilización de materia orgánica, por lo que podrían afectar el rendimiento y eficacia de las alternativas de tratamiento seleccionadas.
- Las fosas sépticas de la planta procesadora de lácteos presenta mayor variabilidad en los análisis de los parámetros realizados en el laboratorio. Al presentar una solidificación del contenido de desechos en la fosa, esto dificulta la mezcla de los mismos contribuyendo a la heterogeneidad del residuo. El tratamiento apropiado para este residuo debe considerar la mezcla del mismo para elevar la eficacia de la degradación y estabilización de la materia orgánica presente..
- La diferencia de volúmenes de lodos de cada una de las fosas sépticas depende del tiempo en que se realizan las limpiezas, la cantidad de usuarios y del contenido de sólidos que contienen el agua residual. La proyección del volumen de acumulación de lodos servirá como herramienta de prevención para la correcta planificación de las actividades de mantenimiento de estos tratamientos.
- Se concluye que la mejor opción de tratamiento para los lodos de las fosas sépticas domésticas son los lechos de secado, debido al nivel de estabilización de la materia orgánica presente, que facilitará su degradación y disposición final o posterior incorporación para abonos orgánicos o suelos.

## **5. RECOMENDACIONES**

- Realizar un estudio de factibilidad y dimensionamiento de las alternativas de tratamiento recomendadas.
- Realizar un análisis microbiológico en los lodos de las fosas para estimar la concentración de microorganismos y presencia de patógenos y su impacto en su disposición final.
- Realizar un estudio de factibilidad en la producción de biogás presente en el digestor anaerobio con mezcla completa para la producción de energía en la planta de lácteos.
- Elaborar una estrategia institucional de manejo para la integración de residuos de alimento, desechos orgánicos y los lodos de las fosas sépticas para la producción de biogás, compost o bocashi.

## 6. LITERATURA CITADA

- Alvarez, A y J. Hermogenes. 2006. Tratamiento biológico del lixiviado generado en el relleno sanitario “El Guayabal” de la ciudad de San Jose de Cucuta. Revista Científica Ingeniería y Desarrollo 20: 1-11.
- Alvarez, J. 2000. Anaerobic of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. Journal ELSEVIER Bioresource technology 74 (1): 3-6.
- APHA (American Public Health Association). 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20a ed. American Public Health Association. Washington, EUA. p 1325
- APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Works Association) y WPCF (Water Pollution Control Federation). 1960. Método Estándar para el examen de aguas y aguas de desecho. *In*. J. Pedro Caballero (trad). Editorial interamericana, S.A. p 560-562.
- Barrios, J. 2009. Academia de Ingeniería, Manejo de lodos., (en línea). Consultado el 31 de marzo de 2014. Disponible en <http://academiadeingenieriademexico.mx/archivos/talleres/aprovechamiento-lodos/Aspectos%20Generales%20del%20Manejo%20de%20Lodos.pdf>
- Bermúdez, J. 1988. La digestión anaerobia. An overview of research achievements and perspectives. Journal ELSEVIER Bioresource technology 2: 10-11.
- Brandes, M. 1978. Accumulation rate and characteristic of septic tank sludge and septage. *In*: Journal (Water Pollution control federation) 50 (5): 936.
- EPA. (1994). Handbook of septage treatment and disposal. United States Environmental Protection Agency. p 932-999.
- Flores *et al.* 2008. Selecting Wastewater Systems for Sustainability in Developing Countries. Centre for Sustainable Development, Department of Engineering, Cambridge University, Cambridge. *In*. England UK (edit). p 1-10.
- García, A. 2003. Método alternativo para tratar lodos de plantas de agua residual en México. Tesis Ing. Civil. México. Instituto Politécnico Nacional. Escuela superior de ingeniería y Arquitectura Unidad Zacatenco. 8 p.

- Gonzales, *et al.* 1994. Portal de revistas científicas y arbitradas de la UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México). Revista Internacional de Contaminación Ambiental 1 (5): 1-5.
- HACH (Company manufactures and distributes analytical instruments and reagents used to test the quality of water and other liquid solution). 2007 DR 2800 Spectrophotometer. Procedures Manual. Método 8000. 2 ed. Germany. 107-114 p.
- Hilbert, J. 2013. La digestión anaeróbica. Informe de actualización técnica. EEA (European Economic Association(en línea). Consultado el 28 octubre del 2014. Disponible en: [http://www.clubderoma.org.ar/documentos/Biogas\\_Hilbert.pdf](http://www.clubderoma.org.ar/documentos/Biogas_Hilbert.pdf)
- IDAE (Instituto para la diversificación y ahorro de la energía). Biomasa: Digestores anaerobios (en línea). Consultado el 15 de octubre de 2014. Disponible en [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_10737\\_Biomasa\\_digestores\\_07\\_a996b846.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10737_Biomasa_digestores_07_a996b846.pdf)
- Lesikar, B y J. Enciso. 2000. Fosas séptica y campo de absorción. Servicio de extensión Agrícola de Texas, el sistema Universitario Texas A & M (en línea). Consultado el 05 de septiembre del 2014. Disponible en [http://repository.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/86911/pdf\\_1228.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repository.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/86911/pdf_1228.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Liénard, A y F. Payrastra. 1996 Treatment of sludge from septic tanks in a reed-bed filters pilot plant. In: 5th international conference on wetland systems for water pollution control. Versión 1. p 1-9.
- Lorenzo, Y y C. Obaya. 2005. La digestión anaeróbica, aspectos teóricos, Revista científica de América Latina, redalyc 39 (1): 35-48.
- Luegue, L. *et al.* 2007. Manual de agua Potable, alcantarillado y saneamiento. México.: Guía para el manejo, tratamiento y disposición de lodos residuales de plantas de tratamientos municipales. In. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 1 p.
- Madrid, A. 2007. Energías renovables. Biomasa. Digestores Anaerobios (en línea). Consultado el 13 de octubre de 2014. Disponible en [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_10737\\_Biomasa\\_digestores\\_07\\_a996b846.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10737_Biomasa_digestores_07_a996b846.pdf)
- Mendez, N. et al. 2009. Digestión anaeróbica de efluentes de fosas sépticas. In: Ingeniería, investigación y tecnología, scielo 13(3): 1-5.
- Metcalf, A y J, Eddy. 2003. Wastewater engineering: treatment and reuse. Trad. Mac Graw-Hill. Editorial, biblioteca UGR. 780- 796P.

- Méndez, N. *et al.* 2007. Septic tank sludge rate determination in the city of Merida, Yucatan. *Revista Ingeniería redalyc* 11(3): 55-64.
- Navia, E. *et al.* 2002. Alkaline pretreatment of Kraft mill sludge to improve its anaerobic digestion. *Bulletin of environmental contamination and toxicology* 69(6): 869-876.
- Nemerow, L. *et al.* 1998. Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos. *Bulletin of environmental contamination and toxicology* 3(1): 448-450.
- Ochoa, I. 2009. Evaluación de lodos procedentes de la fosa séptica Cpa- Hortofrutícola del Zamorano para la producción de abono orgánico Tesis Ing. en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente. En el grado académico de Licenciatura. Escuela Agrícola Panamericana El Zamorano. Honduras- Zamorano. 2-34 P.
- OMS (Organización Mundial de la salud). 2014. Agua, saneamiento y salud (ASS): Uso de aguas residuales (en línea). Consultado 22 de agosto de 2014. Disponible en [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/wastewater/es](http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/es).
- OMS. 1995. Operación y mantenimiento de lecho de secado (en línea). Consultado 12 de octubre del 2014. Disponible en <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/scan/029505/029505-10.pdf>
- Oropeza, N. 2006. Lodos residuales: estabilización y manejo. *Revista Chaos* 1(1): 51-58.
- Orozco, M. *et al.* 1985. Tratamiento y disposición final de lodos. Tratamiento biológico en aguas residuales. *Ingeniería, investigación y tecnología, scielo* 1(1): 66- 415.
- Philip, H. *et al.* 1993. Septic tank sludges accumulation rate and biochemical characteristics. *Journal of water science & technology* 28 (10): 57-64.
- Quintal, C. 1993. The effect of compartmentalization on septic tank efficiency. Tesis Dr. de filosofía. Gran Bretaña. Universidad de Leeds. 76p.
- Richar, R. 2009. Sludge management in highly urbanized areas. *In: A Global Atlas of wastewater sludge and bio solids use and disposal. UN HABITAT.* 1-85 P.
- Stewart, M. 2005. Manual de diseño, construcción, operación y mantenimiento, monitoreo y sostenibilidad en las lagunas de estabilización en Honduras (en línea). Consultado el 22 de septiembre del 2014. Disponible en <http://ns.bvs.hn/docum/Honduras/laguna-de-estabilización-en-honduras.pdf>
- Samboni, N. *et al.* 2007. A review of physical-chemical parameters as water quality and contamination indicators, *Ingeniería e investigación. Scielo* 27 (3): 1- 6 p.
- Tchobanoglous, G. 2000. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Trad. Miller Camargo. Editorial Nomos S.A. 665- 709 p.

Tchobanoglous G. 2001. Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Trad. Miller Camargo. Editorial. Nomos S.A. 223-224 p.

Torres, P. et al. 2005. Influencias del material de enmienda en el compostaje de lodos de planta de tratamiento de agua residuales - PTAR. In: Vidal, A. Sistema de información científica. In situ. Colombia. Colombia Academic Press. 53-61 p.

## 7. ANEXOS

### Anexo 1. Medición del nivel de lodos de las fosas domésticas



Foto tomada por: Doris Castro.

### Anexo 2. Fosas sépticas de Lácteos



Foto tomada por: Sonia Vasquez

Anexo 3. Medición de lodos en la fosa séptica de la planta procesadora de Lácteos



foto tomada por: Doris Castro

Anexo 4. Fosa séptica de la planta procesadora de Cárnicos



Foto tomada por: Sonia Vásquez

Anexo 5. Repeticiones de cada una de las muestras de lodos de las fosas sépticas El Zamorano elaboradas en el laboratorio de la carrera ambiente y desarrollo.

<b>Lugar</b>	<b>ST %</b>	<b>SV% (ST)</b>	<b>SF (%)</b>	<b>SST (%)</b>
Camp 1	28.33	34.04	65.96	8.95
Camp 1	28.67	34.30	65.70	8.94
Camp 1	28.89	35.18	64.82	7.42
Camp 1	28.54	34.41	65.59	6.03
Camp 1.1	31.14	31.80	68.20	5.75
Camp 1.1	31.15	34.77	65.23	6.62
Camp 1.1	30.17	35.92	64.08	5.20
Camp 1.1	29.75	32.51	67.49	5.24
Camp 1.2	31.83	29.31	70.69	11.13
Camp 1.2	31.77	28.43	71.56	11.39
Camp 1.2	30.30	30.49	69.51	13.26
Camp 1.2	32.01	29.94	70.06	12.23
Camp 2	32.58	29.46	70.54	12.00
Camp 2	32.65	29.45	70.55	12.00
Camp 2	31.72	32.80	67.20	11.98
Camp 2	31.70	28.46	71.54	11.79
Camp 2.1	30.49	30.63	69.37	10.23
Camp 2.1	30.38	32.64	67.36	10.23
Camp 2.1	29.76	31.93	68.07	11.35
Camp 2.1	29.78	32.03	67.97	11.89
Camp 2.2	32.37	30.46	69.54	13.57
Camp 2.2	31.40	30.56	69.44	13.79
Camp 2.2	32.96	34.75	65.25	13.26
Camp 2.2	30.65	30.85	69.15	12.23
Camp 3	39.46	25.34	74.66	8.98
Camp 3	39.37	25.60	74.40	8.86
Camp 3	39.55	24.58	75.42	8.86
Camp 3	39.54	25.31	74.69	8.96
Camp 3.1	40.32	25.19	74.81	13.46
Camp 3.1	40.27	25.20	74.80	13.89
Camp 3.1	40.28	25.33	74.67	12.35
Camp 3.1	40.38	25.20	74.80	11.96
Camp 3.2	40.26	25.21	74.79	13.57
Camp 3.2	40.77	24.83	75.17	13.57
Camp 3.2	39.81	25.86	74.14	12.45
Camp 3.2	40.63	24.76	75.24	11.29
Camp 4	32.02	28.16	71.84	6.65
Camp 4	33.23	27.62	72.38	6.37
Camp 4	33.25	26.60	73.40	6.79
Camp 4	33.21	27.59	72.41	6.58
Camp 4.1	30.87	28.95	71.05	9.80
Camp 4.1	33.45	27.22	72.78	8.73
Camp 4.1	30.86	29.73	70.27	8.85

Camp 4.1	30.39	30.23	69.77	9.65
Camp 4.2	31.47	27.62	72.38	3.36
Camp 4.2	31.86	28.61	71.39	3.28
Camp 4.2	50.75	17.85	82.15	2.32
Camp 4.2	35.27	25.37	74.63	3.92
Horto 1	61.59	5.49	94.51	11.23
Horto 1	61.67	5.45	94.55	11.26
Horto1	61.58	5.77	94.23	12.68
Horto 1	61.81	5.78	94.22	12.35
Horto 2	54.23	15.52	84.48	11.24
Horto 2	54.24	15.53	84.47	10.18
Horto 2	55.14	15.49	84.51	11.85
Horto 2	54.04	15.19	84.81	11.90
Horto 3	10.85	37.38	62.62	21.78
Horto 3	14.99	36.71	63.29	21.98
Horto 3	16.46	33.80	66.20	20.68
Horto 3	15.57	35.47	64.53	21.96
Lácteos 1	38.76	99.00	1.00	24.70
Lácteos 1	39.86	98.97	1.03	24.84
Lácteos 1	38.46	99.03	0.97	23.93
lácteos 1	39.04	99.05	0.95	23.90
Lácteos 2	17.06	90.23	9.77	10.47
lácteos 2	17.25	90.35	9.65	10.37
lácteos 2	17.40	89.75	10.25	10.43
lácteos 2	17.07	89.73	10.27	10.52
lácteos 3	16.46	98.35	1.65	12.58
lácteos 3	16.35	98.23	1.77	12.55
lácteos 3	16.34	96.83	3.17	12.58
lácteos 3	16.01	97.06	2.94	12.46
Carn 1	3.26	51.40	48.60	4.47
Carn 1	3.35	50.37	49.63	5.06
Carn 1	3.22	51.38	48.62	5.06
Carn 1	3.15	50.30	49.70	6.07
Carn 2	15.66	52.38	47.62	11.52
Carn 2	15.76	53.44	46.56	12.92
Carn 2	15.41	53.32	46.68	11.52
Carn 2	15.72	53.27	46.73	12.68
Carn 3	10.70	61.29	38.71	8.86
Carn 3	10.84	63.10	36.90	8.86
Carn 3	9.77	63.07	36.93	8.29
Carn 3	10.70	60.55	39.45	9.01
Carn 4	10.37	61.64	38.36	5.35
Carn 4	10.82	61.00	39.00	6.08
Carn 4	10.66	61.15	38.85	6.03
Carn 4	10.53	61.56	38.44	5.29