



UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

“VALORES AGREGADOS DE LA BIODIGESTIÓN ANAEROBIA DEL JACINTO DE AGUA”

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGISTER PLANIFICACIÓN
Y GESTIÓN ENERGÉTICA

AUTOR: RAÚL ANDRÉS CASTILLO NÚÑEZ

DIRECTOR: RUTH KATIUSKA GRANJA JIMENEZ Msc.

CUENCA – ECUADOR

2013



Resumen

En el presente trabajo se analiza la posibilidad de producir biogás a partir de la biodigestión anaerobia del Jacinto de Agua en condiciones Psicrófilas, como opción de uso en la cocción de alimentos en el campamento Guarumales de la Unidad de Negocio HidroPaute de la Corporación Eléctrica del Ecuador. Adicionalmente se evalúan los residuos de la biodigestión como posible fertilizante agrario. Se estima la cantidad de biomasa necesaria para satisfacer las necesidades operativas y se evalúa frente a la tasa de crecimiento vegetativa para determinar la factibilidad técnica del proyecto. Se proporcionan los valores experimentales correspondientes a la caracterización del biogás y bioabonos obtenidos, resultado de la fermentación anaerobia en un reactor tipo batch e inóculo con estiércol de cuy. Los resultados del análisis muestran que es factible el reemplazo total de las fuentes de energía por el biogás si el proceso de fermentación es llevado a cabo en condiciones psicrófilas.

Palabras Clave: Jacinto de Agua, biogestión, psicrófilo, biogás, bioabonos



Abstract

In this paper we analyze the possibility of producing biogas from the anaerobic digestion of water hyacinth in psychrophilic conditions, as an option for use in cooking food in the camp Guarumales Business Unit HidroPaute Electric Corporation of Ecuador . Additionally evaluated digestion residue as possible agricultural fertilizer. We estimate the amount of biomass needed to meet operational needs and is evaluated against vegetative growth rate to determine the technical feasibility of the project. Experimental values are given for the characterization of biogas and biofertilizers obtained result of anaerobic fermentation in batch reactor and inoculum guinea pig manure. The analysis results show that it is feasible to full replacement of energy sources by biogas if the fermentation process is conducted in psychrophilic conditions.

Keyword: Water Hyacinth, bio-management, psychrophilic, biogas, biofertilizers



Tabla de Contenidos

Dedicatoria	9
Agradecimientos.....	10
Resumen	2
Abstract	3
Tabla de Contenidos	4
Introducción.....	11
Capítulo I. Generalidades	13
1.1. Las Especies Invasivas	13
1.2. Las Plantas Acuáticas Invasivas	15
1.3. El Jacinto de Agua (JA).....	16
1.3.1. Generalidades, Taxonomía y Morfología	16
1.3.2. Características Físico Químicas	20
1.3.3. El Jacinto de Agua Como Planta Invasora.....	20
1.3.4. Impactos de las Invasiones del Jacinto de Agua	21
1.3.5. Métodos de Control.....	22
1.3.6. Empleos del Jacinto de Agua	23
1.3.7. El Jacinto de Agua Fuente para la Obtención de Biocombustibles.....	25
1.3.8. Tasa de Reproducción y Crecimiento	26
1.4. Entorno de Análisis y Aplicación: Empresa CELEC EP - HidroPaute	27
1.4.1. Breve Reseña Histórica y Localización	27
1.4.2. Generalidades de la Empresa	27
1.4.3. Los Campamentos.....	32
1.4.4. Temperatura Ambiental de la Región del Campamento Guarumales...	33
1.4.5. Embalse de la Represa Daniel Palacios Izquierdo	33
1.4.6. El Jacinto de Agua de la Represa Daniel Palacios Izquierdo	33
1.4.7. Caracterización específica del Jacinto de Agua del Embalse de la Represa Daniel Palacios.....	34
Conclusiones Preliminares del Capítulo	36



Capítulo II. Bioenergía y fermentación anaerobia.....	37
2.1. Conversión de la Biomasa en Energía.....	37
2.1.1. Biomosas Eficientes para la Obtención de Biocombustibles	41
2.1.2. Fuentes de Biomasa	42
2.2. La Fermentación Anaerobia	42
2.2.1. Usos y Beneficios de la Biodigestión Anaerobia	43
2.2.2. La Co digestión	45
2.2.3. El Biogás.....	46
2.2.4. Los Bioabonos	51
2.2.5. El Biodigestor.....	53
2.2.6. Factores Críticos en la Fermentación Anaerobia.....	59
2.2.7. Promotores e Inhibidores de la Fermentación Anaerobia	68
2.2.8. Parámetros Operacionales del Biodigestor.....	70
2.3. La Biodigestión Anaerobia del Jacinto de Agua	72
Conclusiones preliminares del capítulo.....	73
Capítulo III. Procesamiento de la Biomasa.....	74
3.1. Tasa de Crecimiento y Biomasa Disponible.....	74
3.2. Procedimiento Experimental de Fermentación Anaerobia del Jacinto de Agua en condiciones Psicrófilicas.....	74
3.2.1. Preparación de reactor	74
3.2.2. Preparación del sistema de medición	76
3.2.3. Preparación de las biomosas.....	79
3.2.4. Tiempo de retención experimental.....	82
3.3. Reducción de la biomasa	83
3.4. Temperatura ambiental durante la fermentación.....	84
3.5. El Biogás del Jacinto de Agua.....	85
3.5.1. Calidad del biogás generado	87
3.5.2. Estimación de la capacidad calórica del biogás.....	89
3.6. Los bioabonos del Jacinto de Agua	90
3.6.1. Metales pesados presentes en los bioabonos	91



Conclusiones Preliminares del Capítulo.....	93
Capitulo IV. Procesamiento de la biomasa para la cocción de alimentos en el campamento Guarumales	94
4.1. Relación GLP - biogás	94
4.2. Análisis del posible remplazo GLP por biogás.	94
4.3. Balance de materia para satisfacer el sistema.....	95
4.4. Cantidad de biomasa requerida.	97
Conclusiones Preliminares del Capítulo.....	98
Capitulo V. Discusión	99
5.1. Conclusiones.....	99
5.2. Recomendaciones	100
Indice de Tablas.....	102
Indice de Figuras.....	103
Indice de Ecuaciones	104
Glosario de Términos	105
Glosario de Siglas	105
Anexos	106
Anexo 1. Listado de las 100 especies más invasivas del mundo.....	106
Bibliografía	111



Yo, Raúl Andrés Castillo Núñez, autor de la tesis “Valores Agregados de la Biodigestión Anaerobia del Jacinto de Agua”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Magister en Planificación y Gestión Energética. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 09 de diciembre de 2013



Raúl Andrés Castillo Núñez
0103244026



Yo, Raúl Andrés Castillo Núñez, autor de la tesis “Valores Agregados de la Biodigestión Anaerobia del Jacinto de Agua”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 09 de diciembre de 2013



Raúl Andrés Castillo Núñez
0103244026



Dedicatoria

Nuevamente a mis queridos padres, pero esta vez a tres personas adicionales muy especiales en mi vida, mi esposa Gabriela e hijas Amalia y Ananda. Todos ellos son la razón de mí vivir.



Agradecimientos

Me resulta imprescindible agradecer a la Unidad de Negocio HidroPaute dirigida en su momento por el Dr. Esteban Albornóz Vintimilla y por el Dr. Juan Leonardo Espinoza Abad, por brindarme las facilidades y apoyo necesario para cursar la Maestría en Planificación, Gestión Energética y Recursos Renovables. Este ha sido un hito importante en mi vida y por el cual mi gratitud y compromiso hacia la empresa se verán afianzados permanentemente.

Reconozco y agradezco la orientación e información proporcionada por mi directora de tesis la Ing. Ruth K. Granja, persona comprometida con el desarrollo de energías alternativas y explotación de la biomasa, sin la cual no hubiese logrado desarrollar la presente investigación.



Introducción

Actualmente el embalse de la represa Daniel Palacios corresponde a la Central Hidroeléctrica más importante del Ecuador por su capacidad de generación (1100 MW de potencia instalada). El represamiento se efectuó sobre la cuenca del río Paute ubicado en la zona austral del país y actualmente la operación de las mismas se encuentra a cargo de la unidad de Negocio HidroPaute de la Corporación Eléctrica del Ecuador.

El llenado de las represa de la central antes mencionada se efectuó en 1981 alcanzándose un embalsamiento que cubre una superficie de 331,248.07 m². Desde que los caudales fueron represados, los espejos de agua fueron colonizados masivamente por Jacinto de Agua (*Eichhornia-Crassipes*) a nivel de cobertura superficial del 67 % aproximadamente (Torres Abad, 2009).

La colonización vegetativa del embalse presenta inconvenientes ambientales y operativos relacionados con la disminución de la oxigenación de la superficie acuática, evapotranspiración y pérdida de la navegabilidad (Olvera Viascan, 1988). Como resultado de la pérdida de navegabilidad del embalse, el dragado de sedimentos no puede realizarse libremente, limitándose éste a los 500 m más cercanos a la represa.

El crecimiento acelerado del Jacinto de Agua de entre 0,9-1,8 ton/ha día ha permitido que sea clasificado como una de las especies vegetales más invasivas del mundo (Invasive Species Specialist Group, 2008); esta característica permite considerarla como una fuente de biomasa permanente con potencialidad de explotación para la obtención de subproductos con valor agregado.

Como posible solución que permita controlar la sobrepoblación del Jacinto de Agua, se propone la biodigestión anaerobia bajo condiciones Psicrófilas, como un proceso de transformación de biomasa que permita la obtención de biogás para cocción de alimentos y fertilizantes de uso agrario.

Para el proceso de fermentación se empleó un sustrato de Jacinto de agua inoculado con estiércol de cuy evaluado contra un sustrato de Jacinto de Agua puro como testigo de control.

El estudio incluye los siguientes aspectos:

- Estudio general del vegetal y estimación de su tasa de crecimiento.



- Diseño del sistema de biodigestión
- Pre tratamientos de la biomasa para la biodigestión anaerobia
- Estimación de la cantidad de biogás generado
- Caracterización del biogás generado
- Caracterización de los bioabonos
- Evaluación del biogás generado frente al GLP
- Evaluación de los bioabonos como fertilizante y por contenido de metales pesados.
- Análisis del posible reemplazo del GLP por biogás



Capítulo I. Generalidades

1.1. Las Especies Invasivas

Se identifican como especies invasivas a los animales y vegetales transportados por factores naturales o por el hombre a zonas fuera de su distribución natural, consiguiendo establecerse y dispersarse resultando dañinos para los ecosistemas.

Una especie invasiva o invasora no es sinónimo de especie introducida, ya que una especie invasiva es aquella que luego de implantada se convierte en plaga en su nueva ubicación, creando poblaciones auto sostenibles sin necesidad de nuevas introducciones (Especie Invasora, 2012).

Cada especie invasora causa diferentes impactos y de diferente magnitud, entre los que se distinguen básicamente:

- Impactos ecológicos
- Impactos económicos
- Impactos en la salud de las personas

Actualmente el manejo de especies invasoras es objeto de esfuerzos de cooperación internacional como el Programa Mundial de Especies Invasoras denominado GISP por sus siglas en inglés Global Invasive Species Program, para el control y erradicación de las especies invasivas (Unión Internacional Para La Conservación De La Naturaleza, 2008).

En el Anexo 1 se proporciona el listado de las 100 especies más invasivas del mundo según la Unión Internacional Para La Conservación De La Naturaleza UICN. Los criterios para la clasificación son:

- Severidad de su impacto sobre la biodiversidad o las actividades humanas.
- Ser ejemplos ilustrativos de importantes temas relacionados con las invasiones biológicas.

Se resume en la Tabla 1 y Tabla 2 el tipo y reino de las diferentes especies más invasivas del planeta.



En Ecuador se han identificado 121 especies invasivas (Invasive Species Specialist Group, 2008), de las cuales según se muestra en la Tabla 3, 26 están consideradas dentro de las más invasivas del mundo.

Tabla 1. Tipo y reino de las 100 especies más invasivas del mundo.

Fuente. (Unión Internacional Para La Conservación De La Naturaleza, 2008)

Elaboración. Del autor

TIPO	CANTIDAD	REINO
Insecto	15	Animalia
Mamífero	14	Animalia
Arbusto	13	Plantae
Árbol	10	Plantae
Hierba	8	Plantae
Pez	8	Animalia
Molusco	6	Animalia
Hongo	4	Fungi
Ave	3	Animalia
Microorganismo	3	Monera
Anfibio	3	Animalia
Crustaceo	3	Animalia
Reptil	2	Animalia
Enredadera	2	Plantae
Alga	2	Protista
Equinodermo	1	Animalia
Planta acuática	1	Plantae
Ctenoforo	1	Animalia
Oomycete	1	Protista
TOTAL	100	

Tabla 2. Reino de las 100 especies más invasivas del mundo

Fuente. (Unión Internacional Para La Conservación De La Naturaleza, 2008)

Elaboración. Del autor

REINO	CANTIDAD	%
-------	----------	---



Animalia	56	56
Plantae	34	34
Fungi	4	4
Monera	3	3
Protista	3	3
TOTAL	100	100%

Tabla 3. Especies invasivas en el Ecuador.

Fuente. (Invasive Species Specialist Group, 2008)

Elaboración. Del autor.

NOMBRE CIENTÍFICO		NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO		NOMBRE COMÚN
1	Aedes Albopictus	Mosquito tigre	14	Miconia Calvescens	Miconia
2	Arundo Donax	Caña común o caña brava	15	Micropterus Salmoides	Perca americana
3	Bemisia Tabaci	Mosca blanca del tabaco	16	Mimosa Pigra	Mimosa
4	Bufo Marinus	Sapo de caña	17	Mnemiopsis Leidyi	Ctenóforo americano
5	Capra Hircus	Cabra	18	Mus Musculus	Rata común
6	Chromolaena Odorata	No identificado	19	Oncorhynchus Mykiss	Trucha arcoíris
7	Cinchona pubescens	Quino, kina, quinina roja	20	Opuntia Stricta	Nopal tunero
8	Cyprinus Carpio	Carpa común	21	Oreochromis Mossambicus	Tilapia de Mozambique
9	Eichhornia Crassipes	Jacinto de Agua	22	Oryctolagus Cuniculus	Conejo común
10	Eleutherodactylus Coqui	Coquí común	23	Pheidole Megacephala	Hormiga leona
11	Felis Catus	Gato doméstico	24	Lithobates Catesbeianus	Rana toro
12	Lantana Camara	Lantana, verbena	25	Salmo Trutta	Trucha marrón
13	Leucaena Leucocephala	Acacia pálida	26	Sus Scrofa	Jabalí

1.2. Las Plantas Acuáticas Invasivas

En Ecuador se pueden hallar siete especies de plantas acuáticas invasivas según se muestra en la Tabla 4, de las cuales seis son consideradas como nativas y una de ellas tiene el carácter de introducida (Invasive Species Specialist Group, 2008).



Eicchornia Crassipes o Jacinto de Agua es la única planta acuática introducida con el carácter de invasiva en el Ecuador, pudiendo ser hallada en sus tres regiones costa, sierra y oriente (Vera Delgado, 2009), (Chum Kuffo, Jácome, & Landívar, 2006), (Torres Abad, 2009) (León Espinoza & Lucero Peralta, 2008) y (Cerón, Palacios, Sierra, & Valencia, 1999).

Tabla 4. Especies acuáticas invasivas del Ecuador.

Fuente. (Invasive Species Specialist Group, 2008)

Elaboración. Del autor.

	NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN	ORIGEN
1	Eicchornia Crassipes	Jacinto de agua	Introducida
2	Ludwigia Peruviana	Ludwigia	Nativa
3	Montia Fontana	Monte de agua	
4	Myriophyllum Acuaticum	Pluma de agua	
5	Oxycaryum Cubense	Junco cubano	
6	Rhizophora Mangle	Mangle	
7	Salvinia Minima	Lenteja de agua	

1.3. El Jacinto de Agua (JA)

1.3.1. Generalidades, Taxonomía y Morfología

El Jacinto de Agua (JA) es una hierba perenne acuática flotante de crecimiento y reproducción precoz. Posee tallos condensados glabros de 15 a 20 cm de largo con nudos y entrenudos de 3 cm de largo. Posee hojas sésiles dispuestas en rosetas basales y hojas pecioladas flotantes. Lámina redondeada de 3 a 8 cm de largo por 4 a 7 cm de ancho. De textura membranosa, hinchada y bulbosa. Sistema radicular copioso de coloración café claro a oscuro (Torres Abad, 2009).

A nivel mundial la especie es conocida con diversos nombres comunes como: aguapé o baronesa (Brasil), buchón o tarulla (Colombia), bora (Venezuela), lechuguín (Ecuador), violeta de agua (Chile), lechuguilla, camalote, jacinto de agua o lirio acuático (España), lila de agua (República Dominicana) entre muchos otros (European And Mediterranean Plant Protection Organization, 2008). En la Figura 1 se proporciona una muestra de Jacinto de Agua seccionado, mientras que en la Figura 2 se indica el detalle morfológico del vegetal.

El nombre científico del JA corresponde a *Eichhornia Crassipes* (Martius) Solms-Laubach y tiene una posición taxonómica dentro de las Pontederiaceae del reino Plantae de la división Magnoliophyta (Torres Abad, 2009) (European And Mediterranean Plant Protection Organization, 2008). La clasificación científica de la especie se proporciona en detalle en la Tabla 5.



Figura 1. Muestras de una planta de Jacinto de Agua (lechuguín) extraída del embalse de la represa Daniel Palacios.

Fuente. (Torres Abad, 2009)

Elaboración. (Torres Abad, 2009)

Tabla 5. Clasificación Científica del Lechuguín.

Fuente. (López, 2012)

Elaboración. (López, 2012)



CLASIFICACIÓN CIENTÍFICA

REINO:	Plantae
DIVISIÓN:	Magnoliophyta
CLASE:	Liliopsida
ORDEN:	Commelinales
FAMILIA:	Pontederiaceae
GÉNERO:	<i>Eichhornia</i>
ESPECIE:	<i>E. Crassipes</i>

NOMBRE BINOMIAL

Eichhornia Crassipes
(Mart.) Solms 1883

SINONIMIA

- *Pontederia Crassipes* Mart. 1823
-

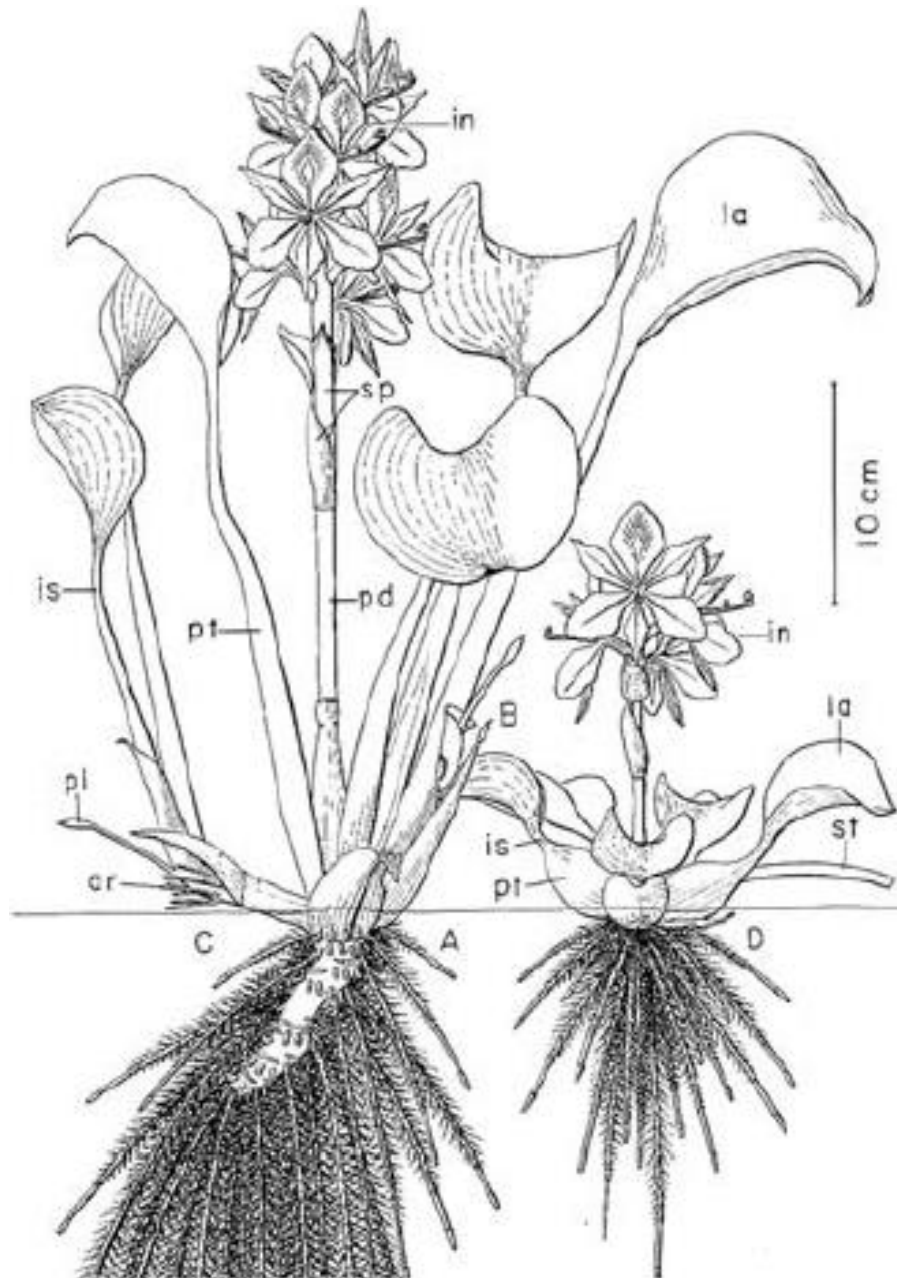


Figura 2. Morfología del Jacinto de Agua. A: roseta de peciolo atenuada en condiciones de confinamiento; B: yema axilar en expansión; C: rama en desarrollo; D: roseta de peciolo bulbosa en condiciones abiertas. Abreviaturas: ar – raíz adventicia; in – inflorescencia; is – itsmo de la hoja; la – filo de la hoja; pl – hoja primaria; pd – espiga del pedúnculo de la flor; pt – peciolo de la hoja; sp – espata; st – estolones.

Fuente. (European And Mediterranean Plant Protection Organization, 2008)

Elaboración. (European And Mediterranean Plant Protection Organization, 2008)



1.3.2. Características Físico Químicas

El JA está compuesto principalmente por agua en un 93 – 97% (Olvera Viascan, 1988), mientras la composición del JA según (Bhattacharya & Kumar, 2010) se indica en la Tabla 6.

Tabla 6. Composición del Jacinto de Agua.

Fuente. (Bhattacharya & Kumar, 2010)

Elaboración. Del autor.

COMPONENTES	COMPOSICIÓN (%)
1. LIGNINA	10
2. CELULOSA	25
3. HEMICELULOSA	35
4. CENIZA	20
5. NITROGENO	03

1.3.3. El Jacinto de Agua Como Planta Invasora

El JA es una especie originaria de sur américa que actualmente se encuentra distribuida en todos los continentes excepto la Antártida.

La capacidad de duplicar su biomasa en tan solo diez días según las condiciones del medio (European And Mediterranean Plant Protection Organization, 2008), le han merecido el nombre del “hermoso demonio azul” también por el llamativo color de sus flores (Ojeifo, Ekokotu, Olele, & Ekelemu, s/f).

Su reproducción es tanto sexual como asexual pudiendo obtenerse nuevos ejemplares a partir de semillas o de partes de una planta principal (European And Mediterranean Plant Protection Organization, 2008). Ensayos realizados en el embalse de la represa Daniel Palacios, en los cuales una determinada área de JA fue aislada y picada esperando que el vegetal se pudra y sedimente, resultó en la multiplicación masiva de la especie en mencionada área.

Los principales patrones de movimiento para la expansión del JA a través del mundo son (European And Mediterranean Plant Protection Organization, 2008):



- Dispersión natural, las semillas y/o fragmentos de JA son transportados por factores naturales.
- Transporte accidental, cuando semillas y/o fragmentos de JA son accidentalmente transportados por nadadores, motores, etc.
- Prácticas agrícolas, en países como China el JA es empleado para alimentar cerdos y elaborar fertilizantes por lo cual su uso se ha hecho común y ha fomentado su distribución.
- Movimiento por venta, ya que sus llamativas flores color violeta promueven su adquisición para ornamentar acuarios y tenerlos en macetas. Incluso pueden adquirirse por internet.

De los cuatro factores antes indicados, vale la pena indicar que tres de ellos pueden ser atribuidos a actividades antropogénicas.

Las condiciones ideales para el crecimiento y reproducción del Jacinto de Agua son corrientes lentas de agua, un PH neutro, alta intensidad luminosa, temperatura entre 28 a 30°C y principalmente agua rica en nutrientes. Existe una correlación directa entre el crecimiento vegetativo de la planta y la concentración de nutrientes del medio de cultivo. A nivel mundial lagos, represas, cursos lentos de agua así como tierras húmedas han sido colonizadas por JA debido a su resistencia a extremas fluctuaciones de la velocidad y nivel de agua, nutrientes, PH entre 4 a 10, temperatura 35 - 5°C (Chetta S. Owens and J. D. Madsen, 1995), intensidad luminosa mayor a 55 cd/ft (Olvera Viascan, 1988), incluso a la presencia de sustancias tóxicas (European And Mediterranean Plant Protection Organization, 2008).

El JA no se presenta en aguas litorales ya que no tolera aguas salobres que contengan más de un 15% de agua de mar (Olvera Viascan, 1988).

1.3.4. Impactos de las Invasiones del Jacinto de Agua

Los principales impactos que se han identificado a nivel mundial en relación a invasiones del Jacinto de Agua y similares plantas acuáticas son (European And Mediterranean Plant Protection Organization, 2008) (Olvera Viascan, 1988):

- Incremento en la pérdida de agua debido a la evapo-transpiración. Una fuente de agua cubierta pierde de 2.67 a 3.2 veces más agua que una que se encuentra despejada



- En países como India, Sri Lanka, Bangladesh, etc, se ha demostrado que inhibe la germinación del arroz.
- Es un hospedaje alternativo para plagas que atacan cultivo de arroz y maíz en el Asia.
- Elevados costos de eliminación y manejo.
- Reduce la cantidad de luz y oxígeno del ecosistema acuático alterando el fitoplancton, las comunidades de invertebrados y los peces.
- Destruye las plantas nativas y los hábitats salvajes.
- Bajo las capas de vegetación se genera sedimento e incrementa la cantidad de detritos.
- La invasión de los espejos de agua restringe las actividades de recreación y turismo como pesca, navegación y desarrollo de deportes acuáticos.
- Aumenta la cantidad de óxido nítrico en el agua aumentando la corrosión en las turbinas de centrales hidráulicas.
- La falta de iluminación y oxigenación del agua generan dióxido de azufre por lo que el agua debe ser tratada intensivamente en plantas de potabilización previo a su distribución.
- Es un hábitat ideal para vectores de enfermedades como cólera y tifoidea, así como animales peligrosos para los humanos como serpientes, cocodrilos e hipopótamos.

1.3.5. Métodos de Control

A nivel mundial, el costo de manejar el Jacinto de Agua es tan alto para la economía como para la ecología (Martínez Jiménez, 2004), por ejemplo, entre 1980 a 1991 solo en el estado de Florida (EEUU) se gastaron 43 millones de dólares para la supresión del Jacinto de Agua y actualmente se asignan 3 millones de dólares anuales para su control (European And Mediterranean Plant Protection Organization, 2008). China a inicios del siglo 21 sufrió una pérdida de 7 billones



de dólares provocadas por especies introducidas al país, gasto que principalmente le es atribuido a las invasiones del Jacinto de Agua (Jian Jun, Yi, & Qi Jia, 2006).

Adicionalmente, para controlar la invasión del Jacinto de Agua en los embalses de las represas asentadas en el río Paute se gastó entre el 2011 al 2012 más de un millón de dólares distribuidos entre contratos destinados a la extracción mecánica de la especie y adquisición de una cosechadora destinada para este fin.

Para controlar la invasión del Jacinto de Agua se emplean varios mecanismos, destacándose principalmente los indicados en la Tabla 7.

Tabla 7. Especies acuáticas invasivas del Ecuador

Fuente. (Martínez Jiménez, 2004)

Elaboración. Del autor.

TIPO DE CONTROL	DESCRIPCIÓN GENERAL	COSTO	OBSERVACIÓN
Control Químico	Aplicación de herbicidas como Diquat, glifosato, etc.	BAJO	Efectivo para la eliminación inicial pero no evita la reinfestación
Control Mecánico	Movimiento y trituración mediante equipos específicos	ALTO	Lenta eliminación, apropiada para controlar los rebrotes
Control Biológico	Uso de insectos y/o patógenos. Ácaros, polillas, gorgojos, hongos, etc.	BAJO	Reduce significativamente el vigor de las invasiones.

1.3.6. Empleos del Jacinto de Agua

Señala (Olvera Viascan, 1988) que el JA es 2.86% más eficiente en la conversión de energía que las especies terrestres, así 3.8 kcal/g dan 29 g/m².día en peso seco bajo condiciones óptimas de desarrollo.

Investigaciones previas citan lo siguiente (Martínez Jiménez, 2004):

“Los países en desarrollo no deberían estimular la propagación de esta maleza para su uso. Los intereses de la humanidad pueden ser salvaguardados



solamente por medio de la búsqueda de medidas a largo plazo para el control del jacinto de agua, en lugar de su utilización”.

Sin embargo las invasiones masivas de la especie obligan a las poblaciones afectadas a aprovechar el Jacinto de Agua como una fuente continúa de biomasa y empleándolo de varias maneras según se indica en la Tabla 8.

Tabla 8. Empleos del Jacinto De Agua.

Fuente. Varias fuentes.

Elaboración. Del autor.

EMPLEO	PAIS DE REFERENCIA	GENERALIDADES
Protección de peces en piscícolas	Nigeria	Se emplea de manera controlada en estanques de cría de peces para protegerlos del sol y depredadores
Sustrato para deposición de huevos	Nigeria	Se emplea de manera controlada en estanques de cría de peces ornamentales para su desove de huevos.
Tratamiento biológico de aguas residuales	Nigeria, Ecuador, India, China, etc.	El JA es un bio acumulador que ha demostrado retener sustancias tóxicas y metales pesados, esta propiedad se le atribuye a su gran capacidad de absorber nutrientes.
Generación de Biogás	Nigeria, Alemania, EEUU, Ecuador, India, China, etc.	A través de la biodigestión anaerobia se genera biogás para generación eléctrica o de energía térmica.
Obtención de fertilizantes	Nigeria, Ecuador, etc.	Los fertilizantes son excelentes mejoradores de suelos y pueden ser obtenidos por compostaje, vermi compostaje o biodigestión
Producción de papel	Nigeria, Chile, etc.	Su celulosa se emplea en la producción de pulpa de papel.
Alimentación de Ganado	Nigeria, Ecuador	Mezclado con otros elementos ha demostrado tener proteínas de buena calidad.



1.3.7. El Jacinto de Agua Fuente para la Obtención de Biocombustibles

(Bhattacharya & Kumar, 2010) y (Hronich, Martin, Plawsky, & Bungay, 2008) indican que la naturaleza invasiva del JA y sus características físico químicas permite su aprovechamiento como materia prima para la obtención de biocombustibles.

En la Tabla 9 se indican los principales biocombustibles obtenidos del Jacinto de Agua.

Tabla 9. Principales biocombustibles obtenidos del Jacinto de Agua

Fuente. (Bhattacharya & Kumar, 2010), (Hronich, Lealon, Plawsky, & Bungay, 2008) y (Campos Yerno, 2011)

Elaboración. Del autor.

BIOCOMBUSTIBLE		PROCESO	OBSERVACIÓN
1	Hidrógeno	Reformación de los gases obtenidos por pirólisis y gasificación de materia orgánica.	Obtención de hidrógeno molecular.
2	Etanol	Descomposición de los azúcares de la planta por fermentación en presencia de microorganismos como <i>Escherichia coli</i> , <i>Klebsiella oxytoca</i> , <i>Saccharomyces cerevisiae</i> y <i>Zymomonas mobilis</i> y posterior destilación.	Altamente soluble en agua e higroscópico. Requiere intensas cantidades de energía para su proceso de destilación.
3	Butanol	Descomposición de los azúcares por acción de <i>Clostridium acetobutylicum</i> .	Es un alcohol de cadena larga relativamente no polar, no es higroscópico comparado con el etanol y requiere menos energía para su producción
4	Biogás	Descomposición de la materia en presencia de bacterias anaeróbicas.	Obtención de una mezcla de gases principalmente compuestos por metano, hidrógeno y CO ₂ .

En la tabla anterior los biocombustibles se presentan ordenados en base a su costo de obtención siendo el más económico el biogás.

1.3.8. Tasa de Reproducción y Crecimiento

Como se ha indicado anteriormente el Jacinto de Agua es una especie capaz de duplicar su cantidad de biomasa en tan solo diez días (European And Mediterranean Plant Protection Organization, 2008). Así (Abdel-sabour, 2010) indica que en ciertas condiciones pueden recolectarse hasta 20 toneladas de biomasa seca por hectárea en un año y que una sola planta puede generar 3,418,800 ejemplares en tan solo 200 días como se muestra en la Figura 3.

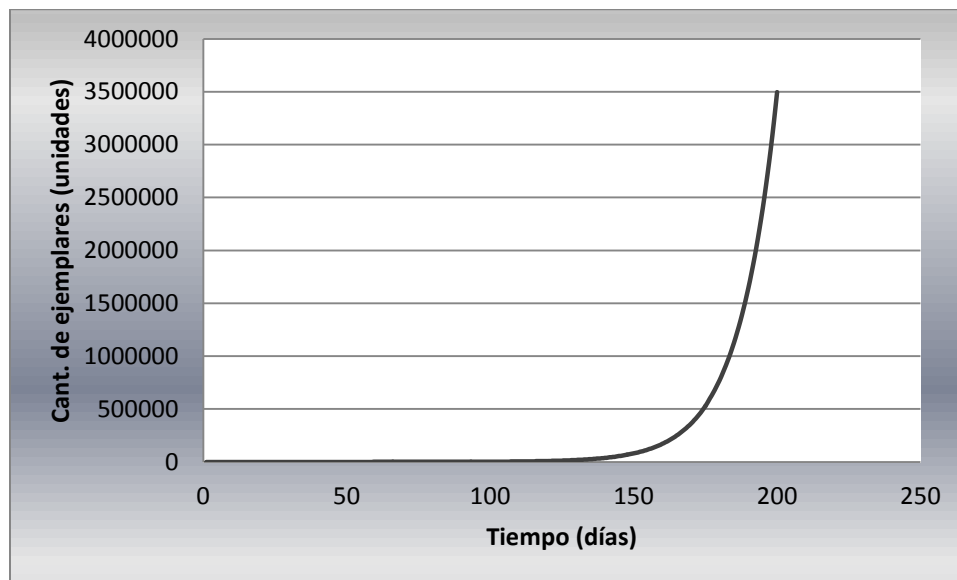


Figura 3. Reproducción del Jacinto de Agua.

Fuente. (Abdel-sabour, 2010)

Elaboración. Del autor

La curva muestra una tendencia exponencial de crecimiento tal como menciona (Olvera Viascan, 1988) en estudios precedentes.

La tasas de reproducción y crecimiento de la especie están estrictamente ligadas a las condiciones ambientales del medio donde se encuentran (European And



Mediterranean Plant Protection Organization, 2008), de tal manera que cada región invadida tendría su tasa específica de colonización.

Para dimensionar que tan alta es la tasa de producción de biomasa del JA resulta interesante comparar esta con la de una especie más familiar como la del maíz, puesto que anualmente el JA genera por hectárea 10 veces más biomasa que el maíz (Olvera Viascan, 1988).

1.4. Entorno de Análisis y Aplicación: Empresa CELEC EP - HidroPaute

Los estudios de la presente investigación se enfocan a la invasión del Jacinto de Agua en el embalse de la represa Daniel Palacios propiedad de la Unidad de Negocio HidroPaute de la empresa pública Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP y los posibles valores agregados obtenidos de la biodigestión anaerobia del vegetal.

1.4.1. Breve Reseña Histórica y Localización

La represa Daniel Palacios Izquierdo o también llamada “Represa Amaluza” se encuentra sobre la cuenca del río Paute en la zona austral del Ecuador, específicamente en la región oriental de la provincia del Azuay aproximadamente a 115 km de la ciudad de Cuenca. Fue construida en la década de los 70 para generar el reservorio de la Central Hidroeléctrica Paute Molino de 1100 MW de potencia instalada (Represa de Paute, 2012). Su construcción fue responsabilidad del extinto Instituto Ecuatoriano de Electrificación INECEL y actualmente pertenece a CELEC EP. El área de influencia de la cuenca del río Paute se ilustra en la Figura 4.

1.4.2. Generalidades de la Empresa

La CELEC EP se constituyó el 26 de febrero de 2009 con el 100% de capital del estado Ecuatoriano, conformada a esa fecha por seis empresas y una potencia instalada totalizada de 1.941 MW (CONELEC, 2009). En la actualidad HidroPaute es una de las 12 Unidades de Negocio que conforman la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC EP tal como se muestra en la Tabla 10.

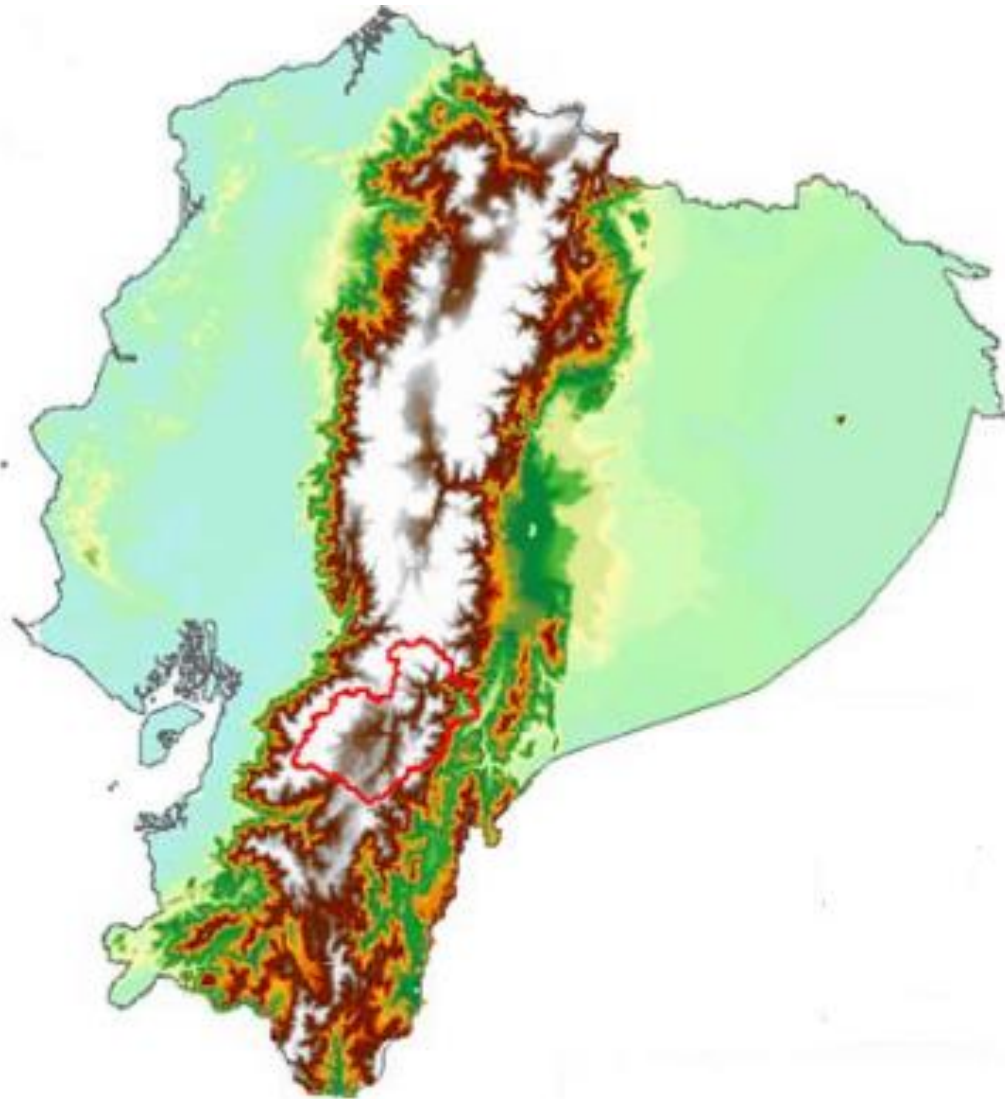


Figura 4. Localización de la Cuenca del río Paute en el Ecuador.

Fuente. (Cuenca del Río Paute, n/d)

Elaboración. (Cuenca del Río Paute, n/d)



Tabla 10. Empresas que conforman la CELEC EP.

Fuente. (Empresas de CELEC EP, n/d).

Elaboración. Del autor.

UNIDAD DE NEGOCIO		GIRO DE NEGOCIO	LOCALIZACIÓN PRINCIPAL
1	ENERJUBONES	Generación Hidroeléctrica	Cuenca
2	HIDROAGOYAN		Baños de Ambato
3	HIDROAZOGUES		Azogues
4	HIDRONACIÓN		Guayaquil
5	HIDROPAUTE		Cuenca
6	HIDROTOAPI		Santo Domingo
7	ELECTROGUAYAS	Generación Térmica	Guayaquil
8	TERMOESMERALDAS		Esmeraldas
9	TERMO GAS MACHALA		Machala
10	TERMOPICHINCHA		Quito
11	GENSUR	Generación Eólica	Loja
12	TRANSELÉCTRIC	Transmisión Eléctrica	Quito

En la actualidad el 40.23% de la potencia efectiva del Ecuador corresponde a energía eléctrica generada en centrales hidráulicas como se observa en la Figura 5. Con 1270 MW de potencia instalada entre sus centrales Paute-Molino y Paute-Mazar, la Unidad de Negocio HidroPaute es la mayor generadora del país.

La energía generada por HidroPaute en las últimas dos décadas se proporciona en la Figura 6 .

HidroPaute es responsable de la operación, mantenimiento y construcción de 5 proyectos hidroeléctricos según se detalla en la Tabla 11.

.

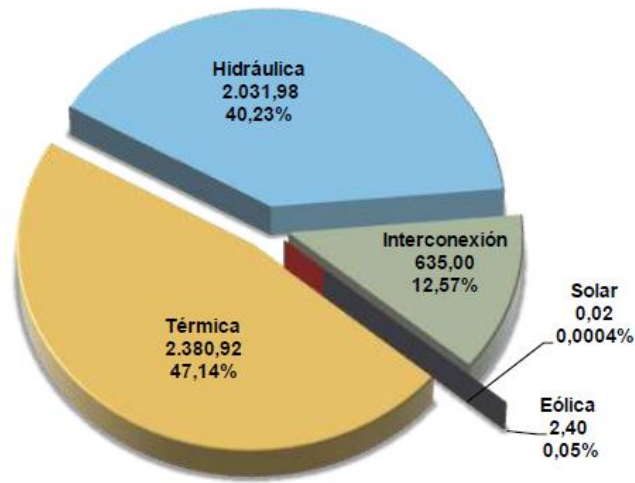


Figura 5. Potencia Efectiva del Ecuador (5.050,32 MW)

Fuente. (CONELEC, 2009)

Elaboración. (CONELEC, 2009)

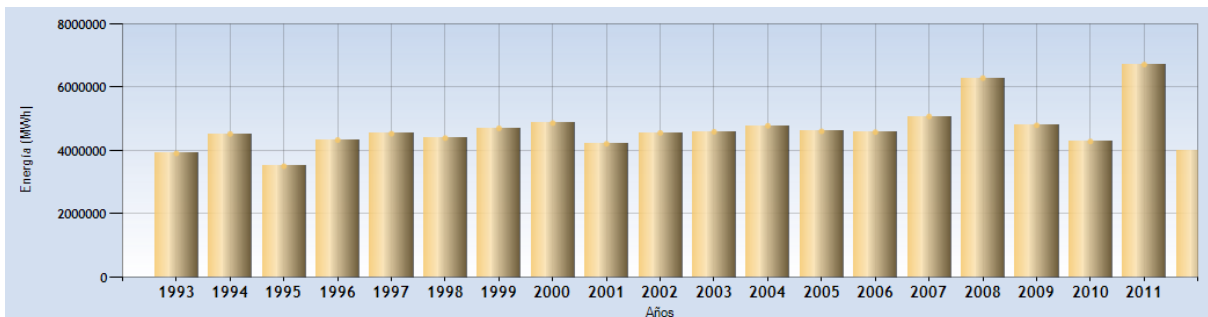


Figura 6. Energía generada por HidroPaute en las últimas dos décadas.

Fuente. (Generación Energía, n/d)

Elaboración. (Generación Energía, n/d)



Tabla 11. Proyectos manejados por la Unidad de Negocio HidroPaute.

Fuente. (Cuenca del Río Paute, n/d)

Elaboración. Del autor.

PROYECTO	ESTADO	POTENCIA NOMINAL (MW)	UNIDADES DE GENERACIÓN
Paute – Mazar	Operación	1100	10
Paute – Molino	Operación	170	2
Paute - Sopladora	Construcción	487	3
Paute - Cardenillo	Estudios definitivos	327	No definido
Río Zamora	Estudios de factibilidad	3000	No definido

Cabe indicar que el proyecto Río Zamora no se encuentra sobre la cuenca del río Paute, siendo un proyecto localizado en la provincia de Morona Santiago en el oriente Ecuatoriano.

Los empleados de HidroPaute lo conforman equipos técnicos, administrativos y obreros entre hombres y mujeres como indica la Tabla 12.

Tabla 12. Personal que labora en la Unidad de Negocio HidroPaute

Fuente. (Personal de HidroPaute, 2012)

Elaboración. (Personal de HidroPaute, 2012)

	CANTIDAD	PORCENTAJE (%)
Hombres	215	90
Mujeres	23	10
Total	238	
<i>Discapacitados</i>	<i>4</i>	



1.4.3. Los Campamentos

La operación continua de las centrales Paute-Mazar y Paute-Molino, así como las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo efectuadas en las mismas, requieren durante todo el año la presencia de personal calificado disponible para asegurar su óptimo funcionamiento. Esto sumado a que el acceso a las centrales es por vía terrestre a más de dos horas de la ciudad de Cuenca, fue implementado como solución logística desde sus inicios campamentos para la convivencia de los empleados.

En la actualidad la Unidad de Negocio HidroPaute cuenta con tres campamentos tal como se muestra en la Tabla 13.

Los campamentos cuentan con la estructura suficiente para brindar las comodidades necesarias a los empleados como son habitación, alimentación y recreación.

El campamento Guarumales es el campamento más grande y las actividades desarrolladas en este demandan cantidades considerables de energía térmica para la cocción de alimentos. Estimaciones basadas en los registros disponibles indican que son empleados en promedio 58.33 kg de GLP al día.

Tabla 13. Campamentos de la Unidad de Negocio HidroPaute

Fuente. Del autor.

Elaboración. Del autor.

CAMPAMENTO	DISTANCIA DESDE CUENCA (Km)	FINALIDAD
Arenales	110	Alojamiento de trabajadores de Central Paute-Mazar
Peñas Coloradas	115	Alojamiento de trabajadores constructores de Central Paute-Sopladora
Guarumales	130	Alojamiento de trabajadores de Central Paute-Molino



1.4.4. Temperatura Ambiental de la Región del Campamento Guarumales

Como se indicará en el capítulo II, la temperatura es un factor crítico en el proceso de fermentación anaerobia, razón por la cual es necesario conocer el rango en el cual esta oscila en el lugar donde se efectuará el proceso de biodigestión.

Registros históricos indican que la temperatura anual promedio en el sector es de 16°C. Temperatura que como se indica posteriormente no es la óptima para efectuar procesos de biodigestión anaerobia.

1.4.5. Embalse de la Represa Daniel Palacios Izquierdo

La represa Daniel Palacios Izquierdo es una presa de hormigón tipo arco de gravedad de 170 m de altura y longitud de coronación de 420 m. Genera un embalsamiento de agua de 120 Hm³ con un volumen útil de 100 Hm³, cuyos niveles normales de fluctuación oscilan entre los 1991 m.s.n.m y 1935 m.s.n.m (Embalse y Sedimentación, s/f). El embalse cubre una superficie de 331,248.07 m² (Torres Abad, 2009).

Los sedimentos que ingresan al embalse atribuidos a la erosión de la cuenca del río Paute aproxima una tasa anual de 2,252 Hm³. Para evitar que los sedimentos taponen las tomas de carga y el desagüe de fondo de la represa se emplea una draga de succión con cortadores hidráulico por chorro en los primeros 1,000 m hacia aguas arriba del embalse (Embalse y Sedimentación, s/f).

El embalse corresponde a la región bioclimática templado húmedo a muy húmedo, de régimen oriental con una temperatura media anual entre los 12°C a 18°C y precipitación promedio entre 2,000 y 3,000 mm, presentando lluvia frecuente durante todo el año (Torres Abad, 2009).

Resalta (Torres Abad, 2009) que el recurso hídrico del embalse es característico de aguas residuales provenientes de domicilios, de la agricultura, minería y otras actividades antropogénicas localizadas en el trayecto del río Paute, a más de agua lluvia, subterránea y superficial.

1.4.6. El Jacinto de Agua de la Represa Daniel Palacios Izquierdo

Estudios previos indican que la superficie del embalse ocupada por Jacinto de agua es del 67%, esto se aproxima a 220,836.047 m² y una población de plantas de 14,492,365 individuos sin considerar la infinidad de semillas dispuestas (Torres Abad, 2009).



Señala (Torres Abad, 2009) que el JA dispuesto en el embalse forma una barrera viva que por su acción fitoremediadora mejora la calidad del agua al absorber metales pesados como plomo y cromo, pero paralelamente promueve la eutrofización del embalse por la carga orgánica que proporciona cuando los ejemplares mueren y se descomponen en el medio acuoso.

Hasta el 2011 el control del JA se limitó a restringir su área de expansión con cables de acero y a evacuar parcialmente la especie con botes durante las crecidas de nivel aprovechando su eliminación por los desfogues de la represa.

A partir del 2012 por un valor superior a los 700,000 USD se adquirió una cosechadora mecánica de JA con la cual se ha comenzado a liberar el espacio invadido sin lograr notables resultados por la intermitencia en la operación del equipo.

La central hidroeléctrica Mazar comenzó sus operaciones en 2010, y desde que se formó su correspondiente embalse comenzó en este la invasión del JA. En la actualidad la invasión se controla con la extracción mecánica del vegetal con botes y retroexcavadoras para su posterior disposición bajo tierra. El costo de este control superó los 300,000 USD entre el 2010 y 2011 (Compras Públicas, s/f).

En la actualidad se encuentra en estudios la construcción de la central hidroeléctrica Cardenillo en la cual consta la instalación de una presa derivadora que le brinde independencia de las operaciones que pudiesen realizarse en la central Sopladora ubicada aguas arriba. Al encontrarse Cardenillo aguas debajo de la represa Daniel Palacios Izquierdo se puede afirmar con seguridad que por transporte de semillas y especies adultas se producirá una nueva invasión del JA.

1.4.7. Caracterización específica del Jacinto de Agua del Embalse de la Represa Daniel Palacios

El JA tiene una humedad del 93 al 97% (Olvera Viascan, 1988); sin embargo, un estudio específico del vegetal dispuesto en el embalse de la represa Daniel Palacios señala que posee una humedad del 90.29 % (Torres Abad, 2009). También proporciona el análisis elemental y de metales pesados de la planta dispuesta en el embalse como se indica en la Tabla 14 y Tabla 15 respectivamente.

Las características ambientales, así como del medio acuático del embalse de la represa Daniel Palacios, comparadas con los parámetros requeridos para el crecimiento y reproducción del JA anteriormente indicados son aptas para su crecimiento y reproducción tal como se muestra en la Tabla 16.

Tabla 14. Caracterización en mg/lit presentes en muestras de Jacinto de Agua.

Fuente. (Torres Abad, 2009)

Elaboración. (Torres Abad, 2009)

PORCIÓN	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Ma
Tallos	1.44	0.04	2.57	1.44	0.47	121	30.5	1004.5	83
Finos	1.4	0.09	6.35	1.93	0.49	35	22.75	67	61.8

Tabla 15. Metales pesados identificados en el Jacinto de Agua.

Fuente. (Torres Abad, 2009)

Elaboración. (Torres Abad, 2009)

REFERENCIA DE LA MUESTRA	CONCENTRACIÓN DE LAS MUESTRAS (ppm)		
	Hg	Cd	Pb
Raíz	< 0.5	3	< 0.5
Tallos	< 0.5	< 2	< 0.5
Hojas	< 0.5	< 2	< 0.5

Tabla 16. Comparación de los parámetros requeridos para el crecimiento y reproducción del Jacinto de agua.

Fuente. Varias fuentes.

Elaboración. Del autor.

PARÁMETRO	RANGO	CARACTERIZACIÓN	OBSERVACIÓN
PH	4 – 10	7.4 – 7.8	Ideal
Luminosidad	ALTA	ALTA	Ideal
Velocidad superficial	LENTA	NULA	Ideal
Temperatura	5 – 35°C	13 – 16°C	Apta
Nutrientes Fosfatos - nitratos	<0.185mg/l – <1.12 mg/l	0.2 mg/l - 3.6 mg/l	Ideal
Plagas o depredadores	-	Ninguna conocida	Ideal



Para la población que se encuentra dispuesta en el embalse de represa Daniel Palacios no se han efectuado estudios que permitan estimar la tasa de crecimiento de la especie; sin embargo como se muestra en la Tabla 16, a excepción de la temperatura ambiente las condiciones acuáticas y ambientales de la zona son propicias para el desarrollo del vegetal. Esta condición se evidencia por la densa ocupación del Jacinto de Agua en el embalse y su continuo crecimiento a áreas libres.

Conclusiones Preliminares del Capítulo

1. Existen diversas especies invasivas alrededor de todo el mundo distribuidas principalmente por factores antropogénicos. Los impactos de mencionadas invasiones son económicos y ambientales.
2. El Jacinto de Agua es una especie invasiva distribuida en todos los continentes a excepción de la Antártida. Es una especie no nativa del Ecuador que se puede encontrar en todas sus regiones.
3. Las características del Jacinto de Agua han permitido que sea empleada de diferentes maneras y su mórbida tasa de reproducción permite que sea empleada como materia prima en la generación de biocombustibles.
4. El jacinto de Agua está presente en los embalses de las represas de las centrales hidroeléctricas de la Unidad de Negocio HidroPaute causando problemas operativos impidiendo el libre dragado de sedimentos y generando evapotranspiración del agua.
5. Los campamentos de la unidad de Negocio HidroPaute son una solución logística a las actividades de operación y mantenimiento de las centrales de generación y para su funcionamiento demandan considerable cantidad de energía.



Capítulo II. Bioenergía y fermentación anaerobia

El aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía puede resultar en un negocio rentable y en una disminución de las emisiones de dióxido de carbono hacia la atmósfera. Resulta interesante mencionar a Alemania, país con el mayor consumo de bioenergía con el 16% del total de la Unión Europea en 2007. Este volumen de energía supone un consumo de 128 TWh, un volumen de negocio de 10.000 millones de euros y el ahorro de 50 millones de toneladas de CO₂ emitidas a la atmósfera (Bioenergía, 2012).

2.1. Conversión de la Biomasa en Energía.

Indican (Bravo Salinas & Cosquillo Arias, 2011) que la biomasa es la energía solar convertida por la flora y fauna en materia orgánica. El almacenamiento primario lo efectúan los vegetales resultado de un proceso fotosintético, principalmente acumulado en los almidones, azúcares, celulosa y lignina. Define (Sánchez Macías, Rodríguez López, & Días Rincón, s/f) a la biomasa como sinónimo de materia orgánica, tanto la originada en un proceso biológico espontáneo como la favorecida por la acción del hombre.

En términos energéticos la palabra “biomasa” debe reservarse para denominar la materia prima empleada en la fabricación de biocombustibles (Biomasa, 2012) y (Sánchez Macías, Rodríguez López, & Días Rincón, s/f).

En los países desarrollados la biomasa contribuye con menos del 10 % al suministro energético, mientras que en los países en desarrollo la contribución aumenta del 20 al 30 %, llegando en algunos países a representar del 50 al 90 % (Sánchez Macías, Rodríguez López, & Días Rincón, s/f). Como referencia en la Figura 7 se proporciona la energía primaria a partir de biomasa sólida en los países europeos.

Los principales procesos de conversión de biomasa en fuentes de energía son termoquímicos y bioquímicos tal como se muestra en la Tabla 17.

Cada proceso de transformación tiene su uso específico en función de las características particulares de cada tipo de biomasa y posee un rendimiento energético propio tal como se muestra en la Tabla 18.

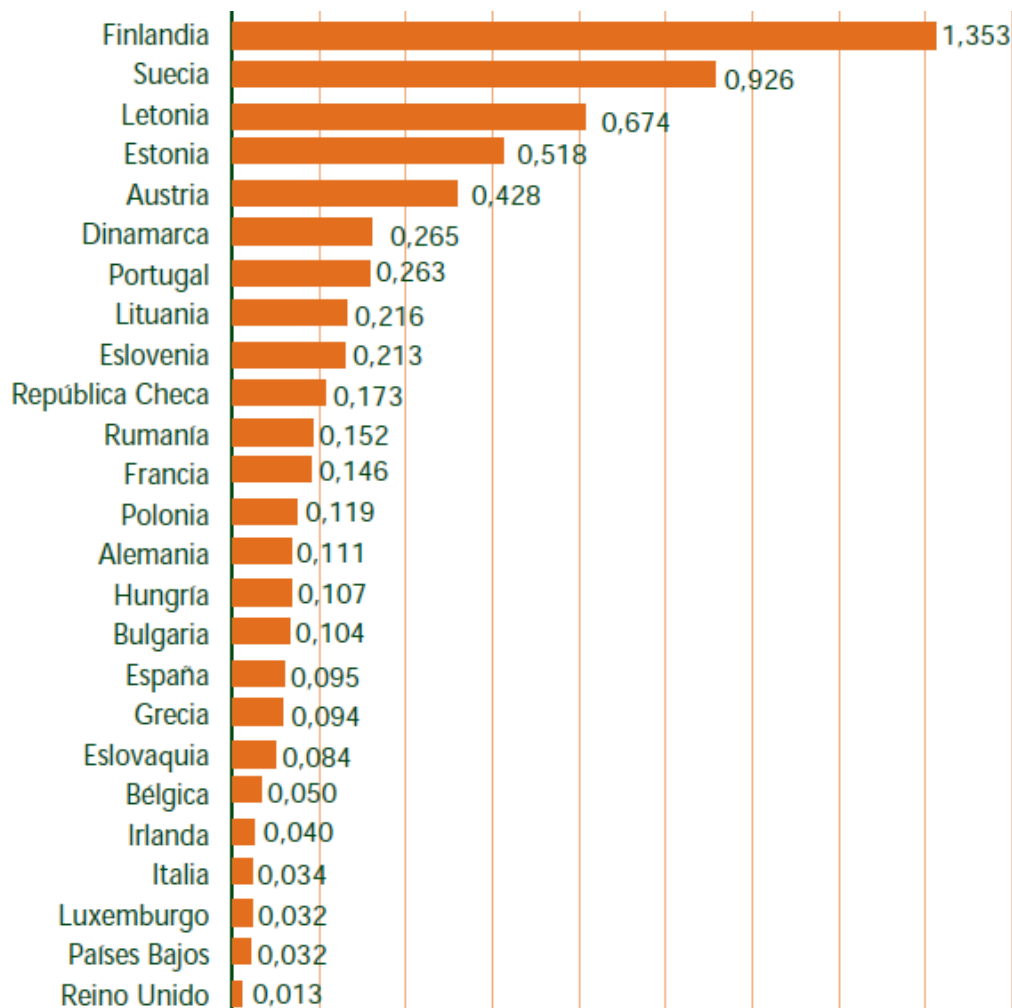


Figura 7. Producción de energía primaria a partir de biomasa sólida en 2007 (tep/hab)

Fuente. (Sánchez Macías, Rodríguez López, & Días Rincón, s/f)

Elaboración. (Sánchez Macías, Rodríguez López, & Días Rincón, s/f)

Tabla 17. Tipos de Conversión de Biomasa en Energía.

Fuente. (Bravo Salinas & Cosquillo Arias, 2011) y (Gasificación, 2012)

Elaboración. Del autor.

PROCESO	DEFINICIÓN	SUBPROCESO	DEFINICIÓN	PRODUCTO
Termoquímica	Transformación de la biomasa por medio de calor	Combustión	Oxidación violenta de la biomasa en presencia de oxígeno.	Calor, CO ₂ y cenizas
		Gasificación	Transformación de la biomasa en gas combustible mediante reacciones en presencia de un agente gasificante.	Combustibles diversos según el agente gasificante.
		Pirólisis	Combustión incompleta en ausencia de oxígeno.	Calor, carbón, gas combustible y aceite.
Bioquímica	Transformación de la biomasa por medio de microorganismos	Fermentación alcohólica	Digestión de la biomasa por levaduras en ausencia de oxígeno y posterior destilación.	Alcohol, CO ₂ y residuos.
		Fermentación anaerobia	Digestión de la biomasa por bacterias metanogénicas en ausencia de oxígeno.	Biogás y bioabonos



Tabla 18. Rendimiento de los diferentes procesos de transformación de energía.

Fuente. (Bioenergía, 2012)

Elaboración. Del autor.

TIPO DE BIOMASA	PROCESO DE TRANSFORMACIÓN	SUBPROCESO	RENDIMIENTO (%)
Húmeda	Bioquímica	Fermentación alcohólica	20 – 25
		Fermentación anaerobia	20 – 35
Seca	Termoquímica	Combustión	65 – 95
		Gasificación	30 – 90
		Pirólisis	65 – 75

Previo al proceso de transformación de la biomasa en biocombustibles, esta debe adecuarse a través de procesos físico químicos o también denominados pre tratamientos (Sánchez Macías, Rodríguez López, & Días Rincón, s/f). Algunos de los pre tratamientos empleados se indican en la Tabla 19.

Tabla 19. Pre tratamientos físico químicos para la conversión de biomasa.

Fuente. (Sánchez Macías, Rodríguez López, & Días Rincón, s/f)

Elaboración. Del autor.

PROCESO	PRE TRATAMIENTO	EMPLEO
Físico	Densificación	Compactación de la biomasa para mejorar sus propiedades y facilitar el transporte.
	Homogenización	Comprende los procedimientos de astillado, triturado y secado acondicionándola para los procesos posteriores.
Químico	Esterificación	Adhesión de un éster a los aceites vegetales para convertirlo en biodiesel.
	Deslignificación	Rotura de la lignina de la biomasa para mejorar los procesos de biodigestión.



Los procesos de conversión bioquímica presentan los menores rendimientos energéticos, sin embargo para biomasas con niveles de humedad superior al 65% resultan como la opción de aprovechamiento económicamente más viable (Al Seadi, y otros, 2008). Los procesos bioquímicos son empleados en la conversión de biomasas como:

- Estiércol y purines de animales
- Residuos agrícolas
- Residuos alimenticios animales o vegetales
- Residuos municipales
- Lodos de sistemas de aguas residuales

2.1.1. Biomásas Eficientes para la Obtención de Biocombustibles

(Bhattacharya & Kumar, 2010) y (Kessler, 2008) indican que no todas las biomásas pueden ser empleadas eficientemente para la producción de biocombustibles ya que para esta finalidad debe cumplir los siguientes atributos:

- Vegetación de crecimiento natural, preferentemente perennes.
- Contenido de alta celulosa y baja lignina por unidad de volumen de materia seca.
- Fácilmente degradable.
- Ser resistente a pestes, insectos y enfermedades.
- No competir por espacio, luz y nutrientes con los cultivos.
- No ser propenso a la contaminación genética por hibridación con los cultivos destinados para el consumo humano.

Resulta importante resaltar para el presente estudio que las características del Jacinto de Agua satisfacen los atributos antes mencionados tal como afirma (Bhattacharya & Kumar, 2010) en su investigación.



2.1.2. Fuentes de Biomasa

Pueden ser diversas las fuentes de biomasa, identificándose para su uso energético aquellas producidas específicamente para este fin o aquellas consideradas residuos no deseados de otros sectores como se indica en la Tabla 20.

Tabla 20. Fuentes comunes de producción de biomasa.

Fuente. Varias fuentes.

Elaboración. Del autor.

FUENTE	SECTOR	BIOMASAS
Cultivo específico	Agrícola	Maíz, soya, caña de azúcar, palma africana, jatrofa
Residuo	Residuos forestales	Ramas, raíces, hojas y aserrín de los procesos de tala de árboles y preparación de madera.
	Desechos agrícolas	Residuos vegetales y animales de los procesos en campos.
	Desechos industriales	Cascarás y pulpas de vegetales, residuos animales de camales y curtiembres.
	Desechos urbanos	Residuos de centros urbanos no reciclables de papel, cartón, comida y aguas negras.

Cabe recalcar que el Jacinto de Agua no es un vegetal cultivado ni un residuo, sino más bien un vegetal no deseado, de crecimiento acelerado y complicado control.

2.2. La Fermentación Anaerobia

También denominada como biodigestión anaerobia (BA) o biometanogénesis es un proceso natural durante el cual la materia orgánica es descompuesta en ausencia de oxígeno por varios tipos de bacterias. En la naturaleza es un fenómeno común en los sedimentos marinos, estómagos de los rumiantes y en las acumulaciones de turba. Existen dos tipos de BA en función de la humedad de la biomasa, así se identifica como “digestión húmeda” y “digestión seca” cuando la



cantidad de humedad supera el 80 % y 65 % respectivamente (Al Seadi, y otros, 2008).

Como se indicó en la Tabla 17, son productos resultantes de la BA el biogás y los bioabonos, los cuales son empleados con diversos fines productivos por la civilización.

2.2.1. Usos y Beneficios de la Biodigestión Anaerobia

El aprovechamiento de la BA por parte de la humanidad no es reciente, (Lobera Losell, 2011) señala que 3000 años A.C. los sumerios ya practicaban la limpieza anaerobia de los residuos, mientras que en el siglo X antes de Cristo A.C. se cita como primer uso del biogás para el calentamiento de agua en los baños públicos de Asiria.

Señalo anteriormente que el principal empleo de la BA es el procesamiento de biomasa con elevados niveles de humedad, resultado del cual puede obtenerse biogás y bioabonos cuya información se ampliará más adelante.

Los principales beneficios de la BA indicados por (Al Seadi, y otros, 2008) son:

- Es un proceso que permite aprovechar la biomasa como una fuente renovable de energía.
- Reduce las emisiones de gases de efecto invernadero, puesto que permite capturar el metano que sería desprendido a la atmosfera durante la digestión aerobia de la materia orgánica en descomposición.
- El biogás generado es un combustible que posibilita disminuir la dependencia de los combustibles fósiles.
- Permite gestionar y reducir de una manera sostenible los desechos orgánicos.
- El sector del biogás contribuye al desarrollo de la economía con la creación de trabajo.
- El biogás es eficiente y flexible pudiendo tener diversas aplicaciones.
- En comparación con la producción de otros biocombustibles la BA necesita menor volumen de agua.

- Genera fertilizantes de excelentes características.
- Permite cerrar el ciclo del carbono como se visualiza en la Figura 8.
- Es flexible para emplear diferentes tipos de biomasas.
- Reduce olores, moscas y vectores.
- Reduce los patógenos de los residuos orgánicos.

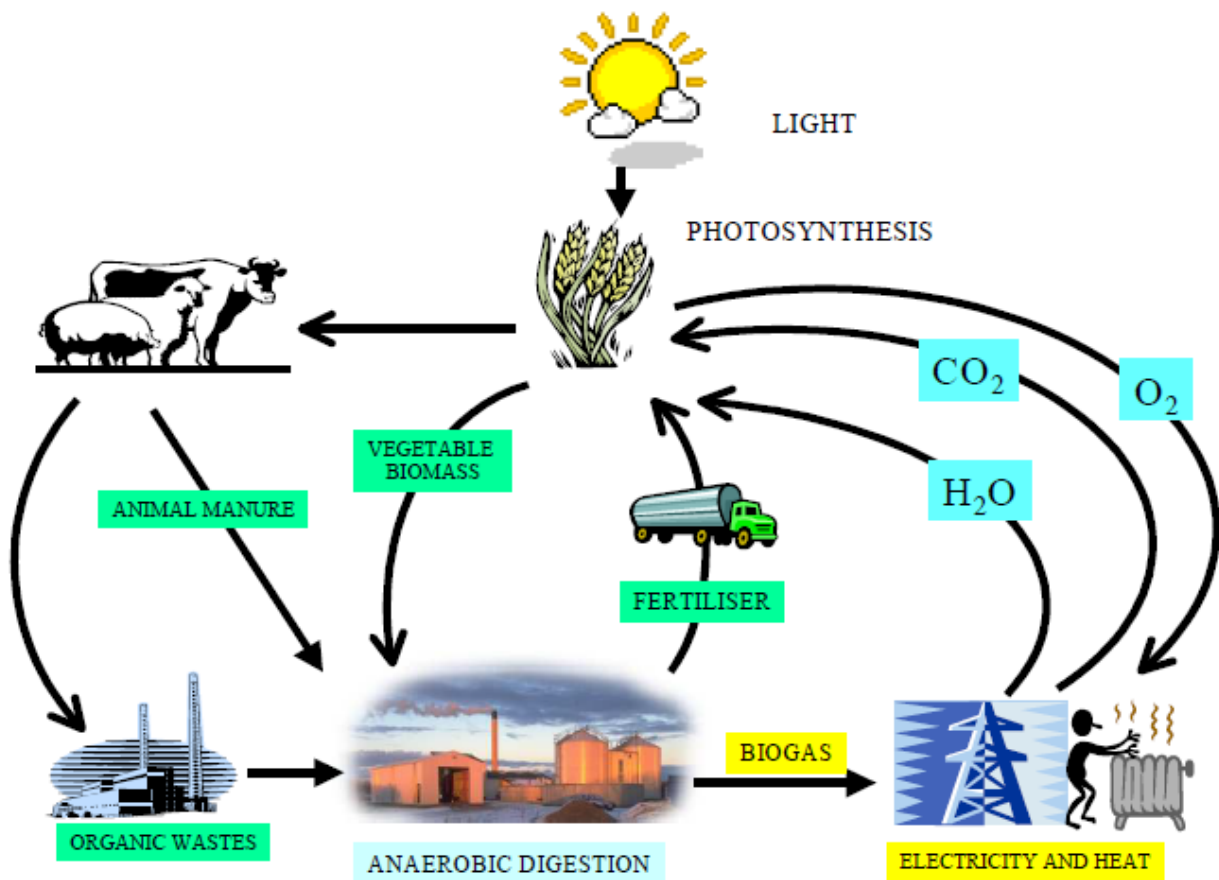


Figura 8. Ciclo sostenible del biogás.

Fuente. (Al Seadi, y otros, 2008)

Elaboración. (Al Seadi, y otros, 2008)

2.2.2. La Co digestión

La BA puede llevarse a cabo con uno o varios tipos de residuos y si para la fermentación se emplea una mezcla homogénea de materia orgánica con desechos animales como estiércol o contenidos estomacales se denomina al proceso como co digestión (Al Seadi, y otros, 2008).

La co digestión es una variante tecnológica que puede solucionar problemas o carencias de un residuo, si son compensadas por las características de otro (Varnero Moreno, 2011). Fermentar estiércol con otro sustrato eleva la producción de biogás y adiciona varios nutrientes a la mezcla resultante (Al Seadi, y otros, 2008).

Es posible efectuar un proceso de co digestión empleando materia orgánica y lixiviados de vertederos de basura, obteniendo volúmenes de biogás de hasta 400 lt/kg de materia orgánica introducida al reactor y una notable reducción de los efluentes (Reina Hernández, Romero Cardona, & Grau Pérez, 2009). El modelo usual de co digestión se indica en la Figura 9.



Figura 9. Modelo usual de co digestión.

Fuente. (Co digestión, 2008)

Elaboración. (Co digestión, 2008)

2.2.3. El Biogás

Como definición básica es un gas mixto resultado de la degradación anaerobia de materia orgánica. Mayoritariamente está compuesto de metano y dióxido de carbono (Bravo Salinas & Cosquillo Arias, 2011).

En la BA el proceso bioquímico mediante el cual la materia se transforma en biogás lo componen varias etapas en las cuales están involucrados grupos específicos de micro organismos que sucesivamente digieren los compuestos generados en las etapas previas (Al Seadi, y otros, 2008). Los procesos de transformación se indican en la Figura 10.

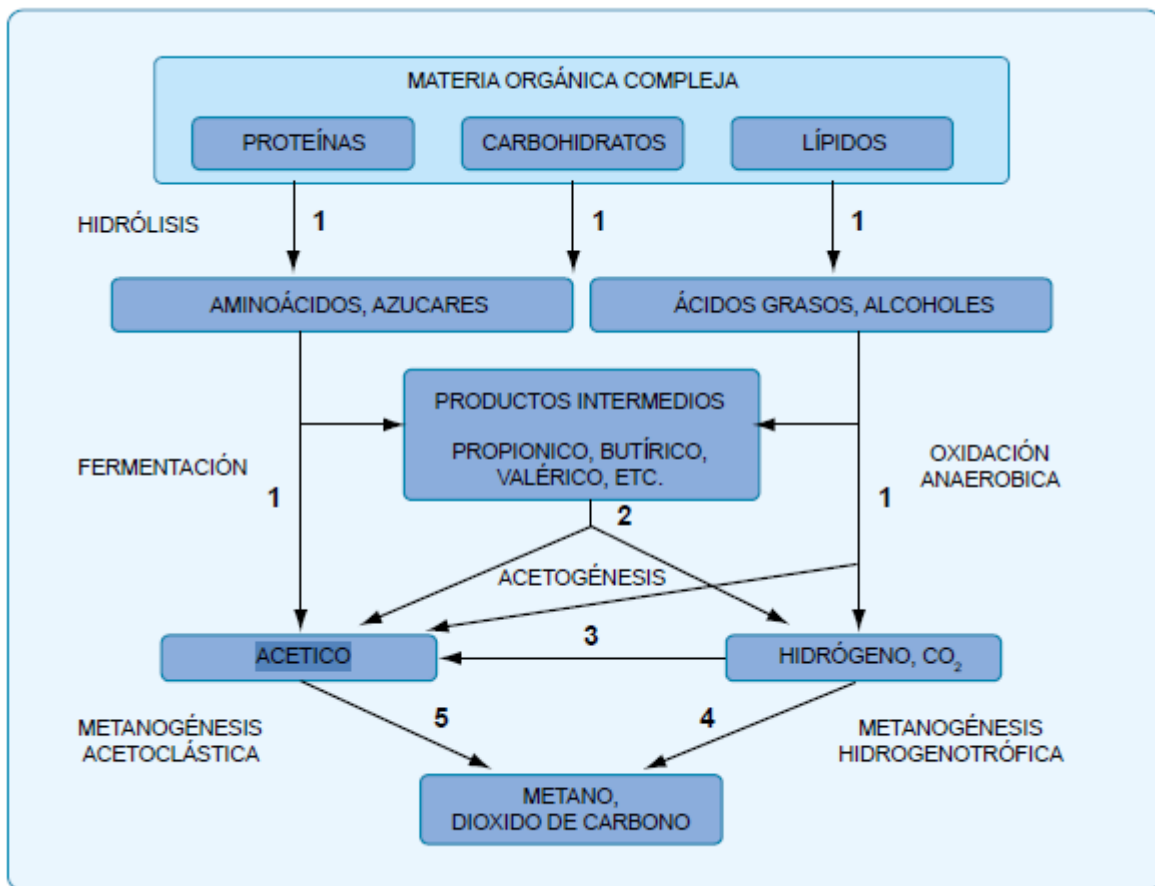


Figura 10. Esquema de reacciones de la biodigestión anaerobia.

Fuente. (Varnero Moreno, 2011)

Elaboración. (Varnero Moreno, 2011)



Los números indicados en la Figura 10 señalan la población bacteriana responsable del proceso de transformación, así:

- 1 Bacterias fermentativas
- 2 Bacterias acetogénicas que producen hidrógeno
- 3 Bacterias homoacetogénicas
- 4 Bacterias metanogénicas hidrogenotróficas
- 5 Bacterias metanogénicas acetoclásticas

Autores como (Varnero Moreno, 2011) y (Al Seadi, y otros, 2008) coinciden en que las etapas presentes en la BA son hidrólisis, fermentativa o ácido génica, acetogénica y metanogénica.

Etapas de Hidrólisis

La materia orgánica polimérica no puede emplearse directamente por los microorganismos a menos que se hidrolicen en compuestos solubles. Estas moléculas complejas son hidrolizadas por la acción de enzimas extracelulares producidas por microorganismos hidrolíticos.

La hidrólisis puede ser una etapa limitante en la velocidad del proceso de BA sobre todo cuando se procesa materia con alto contenido de sólidos. La hidrólisis depende de:

- Temperatura del proceso
- Tiempo de retención hidráulico
- Composición química del sustrato (porcentaje de lignina, carbohidratos, proteínas y grasas)
- Tamaño de las partículas
- Nivel de PH
- Concentración de NH_4

Los materiales lignocelulósicos compuestos principalmente por lignina, celulosa y hemicelulosa, tienen una etapa de hidrólisis lenta. Esto es debido a que la lignina es muy resistente a la degradación por parte de los microorganismos anaeróbicos



afectando también a la biodegradabilidad de la celulosa, de la hemicelulosa y de otros hidratos de carbono.

Etapa Fermentativa o Acido génica

En esta etapa las moléculas orgánicas solubles se fermentan en compuestos que pueden ser empleados directamente por las bacterias metanogénicas como ácido acético, ácido fórmico e hidrógeno y compuestos más reducidos como ácido propiónico, ácido butírico, ácido láctico y etanol. En esta etapa se elimina cualquier traza de oxígeno y se generan sustancias que serán digeridas por las bacterias de la etapa posterior.

Etapa Acetogénica

El hidrógeno y el ácido acético generados en la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos mientras que otros como etanol, ácidos grasos volátiles y algunos compuestos orgánicos deben ser transformados en productos más sencillos como acetato e hidrógeno mediante bacterias acetogénicas.

A esta altura del proceso, la mayoría de las bacterias han extraído todo el alimento de la biomasa y como resultante de su metabolismo eliminan sus propios productos de desecho de sus células. Estos productos son ácidos volátiles sencillos que servirán como sustrato a las bacterias metanogénicas de la etapa siguiente.

Etapa Metanogénica

Un amplio grupo de bacterias del dominio Archea actúa sobre los productos de las etapas precedentes para la generación de metano y completando el proceso de BA.

Se ha demostrado que un 70% del metano producido en los reactores anaeróbicos se forma a partir de la descarboxilación de ácido acético, a pesar de que, mientras todos los organismos metanogénicos son capaces de utilizar el hidrógeno como aceptor de electrones, sólo dos géneros pueden utilizar acetato. Los dos géneros que tienen especies acetotróficas son *Methanosarcina* y *Methanotherix*. El metano restante proviene de los sustratos ácido carbónico, ácido fórmico y metanol. El



más importante es el carbónico, el cual es reducido por el hidrógeno, también producido en la etapa anterior.

Los microorganismos que participan en las cuatro fases de la BA se indican en la Tabla 21.

El biogás puede ser empleado como cualquier otro gas combustible para fines varios siempre y cuando el porcentaje de metano en la mezcla sea igual o superior al 50 % (Bravo Salinas & Cosquillo Arias, 2011). En muchos países la producción de biogás presenta incentivos económicos ya que puede considerarse como un proyecto MDL (Varnero Moreno, 2011).

Tabla 21. Bacterias que participan en el proceso de BA durante sus cuatro etapas.

Fuente. (Varnero Moreno, 2011)

Elaboración. (Varnero Moreno, 2011)

TAXONOMÍA	ESPECIES	DESCRIPCIÓN	METABOLISMO
Género: <i>Acetobakterium</i>	<i>A. woodii</i> <i>A. paludosum</i>	El género <i>Acetobacter</i> comprenden un grupo de bacilos Gram negativos, móviles que realizan una oxidación incompleta de alcoholes, produciendo una acumulación de ácidos orgánicos como productos finales.	Reducen autotróficamente compuestos poliméricos, oligómeros, monómeros y CO ₂ , utilizando el hidrógeno como fuente de electrones. Estos microorganismos hacen posible la descomposición de los ácidos grasos y compuestos aromáticos.
Género: <i>Eubacterium</i>	<i>E. rectale</i> <i>E. siraeum</i> <i>E. plautii</i> <i>E. cylindroides</i> <i>E. brachy</i> <i>E. desmolans</i> <i>E. callandrei</i> <i>E. limosum</i>	El género <i>Eubacterium</i> consiste en un grupo de bacterias anaeróbicas obligadas Gram – positivas.	La mayoría de las <i>Eubacteria</i> sacarolíticas producen butirato como el principal producto de su metabolismo. Muchas especies son capaces de descomponer sustratos complejos a través de mecanismos especiales. Algunas especies se desarrollan autotróficamente, por lo tanto son capaces de cumplir funciones específicas en la descomposición anaeróbica.



El volumen y caracterización de un biogás depende de la materia degradada para obtenerlo y de las condiciones del proceso de BA (Al Seadi, y otros, 2008). En la Tabla 22 se proporciona el volumen de biogás obtenido resultado de la BA de diversos sustratos de biomasa.

Tabla 22. Volumen de biogás obtenido en la degradación de diferentes biomosas.

Fuente. (Al Seadi, y otros, 2008)

Elaboración. Del autor.

BIOMASA	CONTENIDO ORGÁNICO	PRODUCCIÓN DE BIOGÁS m³/kg SV
Purines de cerdo	Carbohidratos, proteínas y lípidos	0.25 – 0.50
Purines de ganado		0.20 – 0.30
Purines de aves		0.35 – 0.60
Contenidos intestinales		0.40 – 0.68
Suero de leche	75 – 80 % lactosa 20 – 25 % proteína	0.35 – 0.80
Pastos	Composición diversa	0.55
Paja	Carbohidratos y lípidos	0.15 – 0.35
Residuos de comida	Composición diversa	0.50 – 0.60
Residuos de frutas	Composición diversa	0.25 – 0.50

Como se indicó anteriormente la caracterización de un biogás depende de varios factores, sin embargo su composición general se proporciona en la Tabla 23.



Tabla 23. Caracterización general del biogás.

Fuente. (Varnero Moreno, 2011)

Elaboración. (Varnero Moreno, 2011)

Composición	55 – 70 % metano (CH ₄) 30 – 45 % dióxido de carbono (CO ₂) Trazas de otros gases
Contenido energético	6.0 – 6.5 kWh/m ³
Equivalente de combustible	0.60 – 0.65 lt petróleo / m ³ biogás
Límite de explosión	6 – 12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 – 750 °C (con el contenido de CH ₄ mencionado)
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	- 82.5 °C
Densidad normal	1.2 kg/m ³
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16.043 kg/kmol

2.2.4. Los Bioabonos

La cantidad y calidad de materia orgánica adicionada a los suelos influye sobre los procesos físicos, químicos y biológicos en el sistema edáfico y representa la base de la fertilidad de los sustratos. Sin embargo el incorporar directamente materia orgánica no estabilizada es una práctica no recomendable por el tiempo que requiere esta para transformarse en compuestos asimilables para las plantas. La estabilización de la materia orgánica previo su incorporación a los suelos tiene como finalidad acelerar la descomposición de la materia para obtener un producto orgánico biológicamente estable, enriquecido en compuestos húmicos y libre de patógenos (Varnero Moreno, 2011). Los procesos biológicos de estabilización usualmente empleados se indican en la Tabla 24.



Tabla 24. Bioprocesos para estabilización de la materia orgánica.

Fuente. (Varnero Moreno, 2011)

Elaboración. Del autor.

TIPO DE DIGESTIÓN	BIOPROCESO	ABONO
Aerobia	Lombricultura	Humus
	Compostaje	Compost
Anaerobia	Biodigestión	Bioabono

La caracterización físico química de los abonos obtenidos en los procesos indicados en la Tabla 24 depende principalmente de la materia prima utilizada y el tiempo de estabilización, sin embargo el bioproceso empleado para la estabilización también genera un abono con características diferentes a pesar de que se utilice la misma materia orgánica (Varnero Moreno, 2011). En la Tabla 25 se proporciona la caracterización de un abono obtenido por dos diferentes bioprocesos.

Tabla 25. Caracterización del abono obtenido por diferentes bioprocesos.

Fuente. (Varnero Moreno, 2011)

Elaboración. Del autor.

PARÁMETROS	COMPOST	BIOABONO
pH (H ₂ O 1:5)	7.2	7.9
N Total (%)	1.0	1.8
P (%)	4.1	8.4
K (%)	0.4	0.7
Relación C:N	19.0	25.0

Los parámetros indicados en la Tabla 25 muestran que los abonos generados tiene características similares, sin embargo son superiores las correspondientes al bioabono.

Los bioabonos generan menos estrés para los suelos y mejoran las condiciones para los organismos del mismo debido a que en la BA se degradan los límites de carbono, ácidos orgánicos así como las sustancias odoríferas y causticas (Al



Seadi, y otros, 2008). Adicionalmente puede ser considerado un acondicionador de suelos debido a que previenen la erosión y aumentan la permeabilidad (Varnero Moreno, 2011).

Tanto (Al Seadi, y otros, 2008) y (Varnero Moreno, 2011) coinciden en que los bioabonos son el sustrato residual generado luego del proceso de generación de biogás y estos pueden presentarse tanto en estado sólido como estado líquido y comúnmente son identificados como biosol y biol respectivamente.

(Martí Herrero, 2008) afirma que mientras mayor tiempo permanezca el sustrato en el interior del bioreactor mejoran las características del bioabono. En la Tabla 26 se proporcionan los tiempos de retención recomendables para obtener fertilizantes por BA de mejores características.

La mejora en las características del bioabono se le atribuye a que estos son más estables y su asimilación por las plantas es más fácil como se mencionó anteriormente.

Tabla 26. Tiempo de retención apto para optimizar las características de los biofertilizantes.

Fuente. (Martí Herrero, 2008)

Elaboración. (Martí Herrero, 2008)

REGIÓN CARACTERÍSTICA	TEMPERATURA MEDIA °C	TIEMPO DE RETENCIÓN DÍAS
Trópico	30	25
Valle	20	37
Altiplano	10	75

2.2.5. El Biodigestor

También denominado como bioreactor, es una cámara hermética en la cual se lleva a cabo el proceso bioquímico de fermentación anaerobia.

Afirma (Hilbert, s/f) que la selección de los materiales de construcción tiene una gran importancia y por lo tanto debe satisfacer los siguientes requerimientos:

- Resistencia a los esfuerzos de origen mecánico y térmico.



- Resistencia al ataque químico.
- Posibilidad de ser modelado y/o construido localmente.
- Disponibilidad local.
- Compatibilidad ambiental.

Según (Hilbert, s/f) y (Varnero Moreno, 2011) los principales componentes de un biodigestor son:

2.2.5.1. Reactor

Es el dispositivo principal donde ocurre la BA. Puede tener formas cilíndricas, cúbicas ovoides o rectangulares y pueden estar construidos de distintos materiales desde una piscina cubierta con polietileno, concreto o acero inoxidable. Es favorable que el reactor cumpla los siguientes requisitos:

- Impermeable al agua y al gas para evitar contaminaciones del sustrato o pérdidas del biogás.
- Aislante para minimizar las pérdidas de calor que favorece la fermentación anaerobia como se indicará más adelante.
- Estabilidad estructural capaz de soportar cargas estáticas y dinámicas. Debe incluirse un estudio de suelos especialmente para los que serán construidos bajo tierra donde pueda afectarse capas freáticas.
- Contar con un sistema de agitación que mantenga homogéneo el sustrato dentro del reactor.

Existen varios tipos de reactores como se detalla en la Tabla 27.

Es interesante mencionar que en Europa y países como Argentina, Brasil y Chile es recuperado el gas metano generado en los rellenos sanitarios para su empleo como combustible. En estos casos los rellenos también actúan como un tratamiento anaerobio siendo el biogás recolectado mediante cañerías perforadas enterradas a diferentes niveles del sustrato.

2.2.5.2. Sistema de acarreo o alimentación

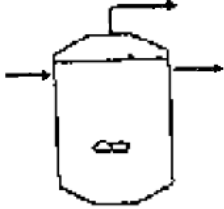
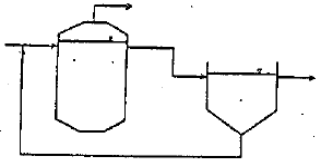
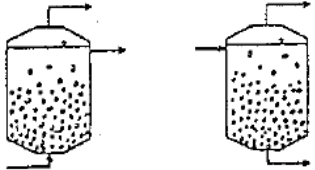
Asegura la provisión de materia orgánica al reactor evitando su descomposición aeróbica y pérdida de temperatura (para efluentes industriales). Usualmente el sustrato se almacena en una cámara de carga previa su ingreso al reactor donde es homogenizada con agua y un sistema de agitación.

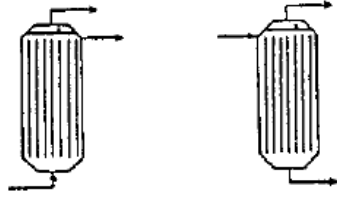
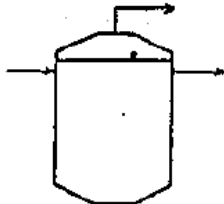
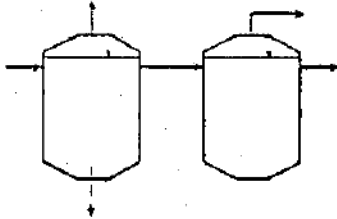
Tabla 27. Clasificación de los distintos biodigestores.

Fuente. (Hilbert, s/f)

Elaboración. Del autor.

CRITERIO DE CLASIFICACIÓN	TIPO DE SISTEMA	CARACTERÍSTICA	GRÁFICO DE REFERENCIA
Carga	Batch	Una carga y su posterior vaciado total de cámara de digestión. Puede o no tener agitación y para su arranque requiere tener una proporción de inóculo del 20 %. Su uso es apropiado en laboratorio y para materiales celulósicos que no pueden emplearse en reactores continuos debido al posible taponamiento de los conductos de entrada y salida.	
	Continuo o semi continuo	El volumen de materia que ingresa desplaza una cantidad equivalente de efluente que se evacua por la salida y de esta manera el volumen de sustrato se mantiene constante. El tiempo de permanencia de la biomasa en el digestor esta dado por cociente entre el volumen de la cámara y el de carga diaria	

Intensidad de mezcla	Mezcla completa	Busca la mezcla total del sustrato dentro de la cámara de fermentación. En los reactores calefaccionados asegura la distribución uniforme de la temperatura. Los sistemas más usuales son mecánicos, de bombeo o reinyección del biogás en el sustrato.	
	Mezcla parcial o nula	Busca la mezcla del sustrato pero por ser un sistema rudimentario típico de los digestores artesanales rurales la mezcla no es completa.	
Manejo del sustrato	Contacto anaeróbica	Busca retener la mayor cantidad de bacterias activas dentro de la cámara de digestión a fin de lograr menores tiempos de retención y consecuentemente menores volúmenes del digestor. En estos digestores las bacterias del efluente son reintroducidas con la biomasa al reactor.	
	U.A.S.B.	En su interior posee separadores y mamparas estratégicamente ubicadas para conformar glómulos de bacterias y evitar que salgan con el efluente.	
Manejo bioquímico	Lecho fluidizado	Pequeñas partículas se mantienen en suspensión dentro de la cámara de digestión. Las bacterias se adhieren a las partículas que no son atacadas para posteriormente ser recuperadas mediante filtrado y reintroducidas al digestor. Actualmente su uso está limitado a plantas piloto y de laboratorio.	

	Filtro anaeróbico	En su interior tienen un medio fijo sobre los cuales se adhieren las bacterias y así se evita su pérdida. No es apto para líquidos con material insoluble en suspensión ya que bloquearían la circulación del sustrato.	
	Una etapa	La fermentación se produce en una sola recámara.	
	Dos etapas	La digestión se produce en dos recámaras. En la primera se desarrolla la etapa acidogénica y en la segunda la acética y metanogénica para optimizar el desarrollo de cada bacteria. Su uso sigue limitado a laboratorios.	

2.2.5.3. Sistema de salida de efluentes y lodos

Los efluentes pueden ser extraídos de manera continua a diferentes niveles del biodigestor, pero por regla general se elige el nivel del cual se extraiga el efluente de mejor calidad como bioabono, mientras que los lodos son extraídos periódicamente por la parte inferior del reactor hacia un sistema de evacuación y acumulación.

2.2.5.4. Conductos, canales y bombas

En el biodigestor podemos diferenciar fluidos como biogás, efluente y lodos; antes, durante y después del proceso de BA. Dependiendo del tipo de sistema usado alguno o todos los sistemas del biodigestor funcionarán de forma continua o intermitente pudiendo ejecutarse de forma manual o automática. Los requerimientos para el manejo y transporte del sustrato varían de acuerdo a la naturaleza del mismo y a la clase del proceso utilizado.

Las propiedades físicas del sustrato fresco son raramente comparables con las del agua. En otras palabras, los fluidos involucrados se consideran como No Newtonianos. Los criterios de selección y diseño de los equipos deben fundamentarse en:

- Viscosidad del sustrato, efluentes y lodos.
- Tipo, tamaño y proporción de sólidos.
- Contenido de sólidos totales.
- Proporción de agua pura.
- Caudales requeridos.

2.2.5.5. Sistema manejo y almacenamiento de biogás

La producción de gas es continua durante las 24 horas del día, mientras su consumo puede por lo general estar concentrado a una fracción de este tiempo. Por este motivo es necesario almacenar el biogás cuando no es consumido. La dispersión del consumo y su intensidad determinará el volumen de almacenamiento requerido. La forma más simple de almacenamiento es el empleo de gasómetros siendo más usuales los indicado en la Figura 11.

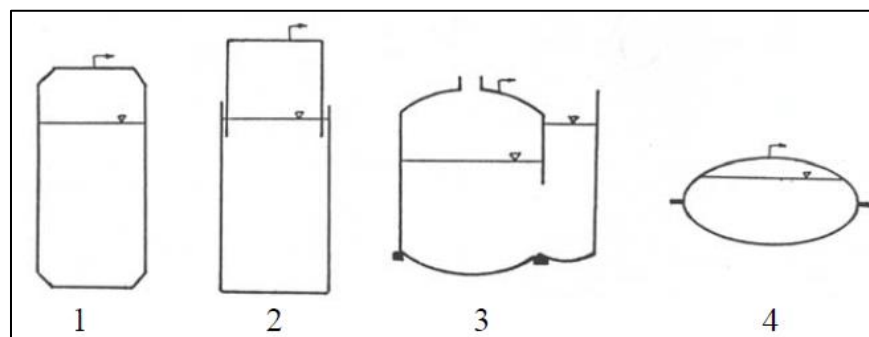


Figura 11. Gasómetros más empleados. 1: Digestor cerrado; 2: Gasómetro flotante; 3: Campana Fija; 4: Balón plástico.

Fuente. (Hilbert, s/f)

Elaboración. (Hilbert, s/f)



En los gasómetros 1 y 3 el gas se almacena a presión y volumen variable, mientras que en los 2 y 4 el gas se almacena a presión constante y volumen variable siendo los modelos más empleados.

Son componentes importantes en el sistema de gas los elementos detallados en la Tabla 28.

2.2.5.6. Muestreador

Es una tubería que permite tomar muestras del lodo del digester sin pérdida de presión del gas ni permitir el ingreso de oxígeno.

2.2.5.7. Sistema de Calentamiento

Un biodigester puede trabajar a cualquier temperatura, sin embargo el tiempo de retención disminuye a medida que aumenta la temperatura. En general los biodigestores modernos funcionan en temperaturas ente 35 y 37 °C.

El calentamiento del digester puede efectuarse empleando parte del biogás generado (Varnero Moreno, 2011) siendo también aplicable el calentamiento del reactor mediante colectores solares térmicos como demuestran (Torres Deluigi & Follari, s/f) y (Gutiérrez Castro, 2011) en sus investigaciones.

2.2.6. Factores Críticos en la Fermentación Anaerobia

La actividad metanogénica es altamente susceptible a los cambios de las condiciones en los que se produce la BA (Varnero Moreno, 2011), (Al Seadi, y otros, 2008) y (Rivas Solano, Faith Vargas, & Guillén Watson, 2010), siendo los más relevantes los indicados a continuación:

Tabla 28. Componentes del sistema de gas de un biodigestor moderno.

Fuente. (Varnero Moreno, 2011)

Elaboración. Del autor.

COMPONENTE	FINALIDAD
Válvula de seguridad y rompedora de vacío	Van colocadas sobre una misma tubería pero con actuación independiente. Sirven para regular los niveles de presión positiva y negativa que podría colapsar el sistema.
Apaga llamas	Deben instalarse en los puntos del digestor con mayor riesgo de ocurrencia de llama como: entre la válvula de seguridad y vacío, tubería de gas, quemador de gases de exceso y delante de cada caldera, horno o llama.
Válvulas térmicas	Es un dispositivo adicional de seguridad para arrear una llama, en el cual se cierra el paso del gas al fundirse por el calor generado un elemento actuador.
Separadores de sedimentos	Permite retener la humedad y las incrustaciones arrastradas por el biogás antes de entrar al sistema de gas. Se instala a la salida del digestor.
Purgadores de condensado	Permite eliminar la humedad arrastrada por el biogás y acumulada en las cañerías para evitar que esta cause daño en equipos como compresores e interfiriendo en la posterior utilización del gas.
Medidores de gas	Pueden ser de fuelles, molinetes o presión diferencial. Permiten cuantificar el volumen disponible de gas.
Manómetros	Se instalan en diversos puntos del sistema para monitorear la presión de funcionamiento.
Reguladores de presión	Se instalan en diversos puntos del sistema y tienen como finalidad mantener estable la presión del sistema.
Almacenamiento del gas	Corresponde a los gasómetros anteriormente mencionados.
Quemador de gases sobrantes	Es una antorcha que permite quemar los gases de exceso del sistema, va provisto de una llama piloto para combustionar cualquier exceso de gas que pase por los reguladores de presión.



2.2.6.1. Naturaleza y Composición de la Materia Prima

Las materias primas utilizadas en el proceso de fermentación pueden tener distintos orígenes, sin embargo estos deben permitir el desarrollo y actividad microbiana del sistema anaeróbico. El proceso microbiológico requiere además de fuentes de nitrógeno y carbono, contar con cierto equilibrio de sales minerales como azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otras menores. Usualmente estiércoles y lodos cloacales presentan estos elementos en cantidades adecuadas para la BA, sin embargo en ciertos residuos puede ser necesaria la adición de los compuestos indicados.

Las sustancias con altos contenidos de lignina no son directamente aprovechables por lo que deben someterse a pre tratamientos para su BA. Incluso en materias con bajos porcentajes de lignina han demostrado que ciertos pre tratamientos aumentan la generación de biogás en el proceso de BA (Granja Jimenez & Holtzaple, 2012) y (Corace, Aeberhard, Martina, Ventín, & García Solá, 2006).

Los valores del rendimiento del biogás obtenido de estiércoles presentan grandes diferencias dependientes del tipo de animal y la alimentación que hayan recibido. En términos generales los sustratos pueden clasificarse en cuatro clases en función de su apariencia física, nivel de dilución, grado de concentración y características cuantitativas como el porcentaje de sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV) y demanda química de oxígeno (DQO) como se indica en la Tabla 29.

Los porcentajes de biogás y metano generados en la BA de carbohidratos, lípidos y proteínas se proporciona en la Tabla 30 ya que resulta interesante su análisis al ser componentes usuales de los residuos orgánicos domésticos e industriales.

Se observa en la Tabla 30 que la BA de lípidos tiene una generación de metano superior a la de carbohidratos y proteínas. (Rivas Solano, Faith Vargas, & Guillén Watson, 2010) afirma que cuando se agregan lípidos a los biodigestores la productividad de biogás puede aumentar hasta en un 2400 % existiendo una relación directa entre el incremento en la producción de biogás conforme aumento el porcentaje de aceite agregado.

Tabla 29. Clasificación de los sustratos para el proceso de biodigestión anaerobia.

Fuente. (Varnero Moreno, 2011)

Elaboración. Del autor.

CLASE	CARACTERÍSTICAS GENERALES	TIPO DE SUSTRATO	CARACTERÍSTICAS CUANTITATIVAS	DIGESTOR RECOMENDADO
1	Sólido	Basura doméstica	ST > 20 % Fracción orgánica 40 – 70 %	Batch
		Estiércol sólido		
		Restos de cosecha		
2	Lodo altamente contaminado, alta viscosidad	Heces animales	DQO 100 – 150 g/l ST 5 – 10 % SV 4 – 8 %	De mezcla completa y operación continua
3	Fluido con alto contenido de sólidos suspendidos	Heces de animales de cría y levante diluido con agua de lavado	DQO 3 – 17 g/l SS 1 – 2 g/l	Filtro anaerobio
4	Fluidos muy contaminados, sólidos en suspensión	Aguas residuales de agroindustria	DQO 5 – 18 g/l	Filtro anaerobio de dos etapas o U.A.S.B.
		Aguas negras	DQO 4 – 500 g/l	

Tabla 30. Porcentaje de biogás y metano generado por biodigestión anaerobia de carbohidratos, lípidos y proteínas.

Fuente. (Varnero Moreno, 2011)

Elaboración. Del autor.

COMPUESTO	FÓRMULA	BIOGÁS m ³ /kg SV	METANO m ³ /kg SV	CANTIDAD DE METANO EN EL BIOGÁS %
Carbohidratos	C ₆ H ₁₀ O ₅	0,75	0,37	49
Lípidos	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	1,44	1,44	100
Proteínas	C ₁₆ H ₂₄ O ₅ N ₄	0,98	0,49	50



2.2.6.2. Relación Carbono / Nitrógeno

El carbono y el nitrógeno son los principales nutrientes de las bacterias metanogénicas. El carbono constituye la fuente de energía mientras que el nitrógeno es utilizado en la formación de nuevas células. Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno por lo que la relación óptima de estos elementos en la materia se considera en un rango de 30:1 hasta 20:1.

La BA de materia con alto contenido de carbono, superior de 35:1 ocurre más lentamente debido a que la reproducción de bacterias es reducida por la falta de N pero el período de producción de biogás es más prolongado. Por otro lado una relación C:N menor de 8:1 se inhibe la actividad bacteriana por la excesiva formación de amonio que resulta tóxico en grandes cantidades.

Una biomasa con una relación C:N inadecuada debe equilibrarse con la adición de materia orgánica que complemente esta proporción dentro de los parámetros ideales antes indicados en base a la Ecuación 1.

Ecuación 1. Determinación de la relación C:N de una mezcla de materias.

Fuente. (Varnero Moreno, 2011)

$$k = \frac{C1xQ1 + C2xQ2 + \dots + CnxQn}{N1xQ1 + N2xQ2 + \dots + NnQn}$$

Donde:

k = relación C: N de la mezcla de materias

C = % de C orgánico contenido en cada materia prima

N = % de N orgánico contenido en cada materia prima

Q = peso fresco de cada materia

2.2.6.3. Sólidos Totales y Sólidos Volátiles

La materia orgánica esta compuesta de agua y una fracción sólida denominada sólidos totales (ST). El porcentaje de ST de la mezcla afecta la eficiencia de la BA y la producción de biogás puesto que a medida que aumentan los ST presentes se restringe la movilidad de las bacterias metanogénicas.



Experimentalmente se ha demostrado que los ST en digestores semi continuos no debe superar del 8 al 12 %, mientras que en digestores discontinuos pueden constar entre un 40 al 60 %.

Los sólidos volátiles (SV) es la porción de sólidos totales que se libera de una muestra volatilizándose al ser calentada por dos horas a una temperatura de 600 °C. Los sólidos volátiles tienen componentes orgánicos que teóricamente son los que se convierten en metano (Varnero Moreno, 2011).

El porcentaje de ST de los sustratos usualmente más empleados se proporciona en la Tabla 31..

Para determinar la cantidad de agua que debe incorporarse a un biodigestor por kilogramo de materia orgánica fresca para mantener los ST en los niveles requeridos para un proceso de BA eficiente se emplea la Ecuación 2.

Ecuación 2. Determinación de la cantidad de agua necesaria para optimizar la cantidad de sólidos totales.

Fuente. (Varnero Moreno, 2011)

$$\% STT = \frac{1 \text{ kg materia} \times \% ST}{1 \text{ kg materia} + W}$$

Donde:

$\% STT$ = % de sólidos totales en la materia orgánica diluida

$\% ST$ = % de ST de la materia prima fresca sin agua

W = Cantidad de agua necesaria para obtener STT

2.2.6.4. Temperatura

Los procesos anaerobios son fuertemente dependientes de la temperatura. La velocidad de reacción del proceso biológico como la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados depende de la temperatura. A medida que aumenta la temperatura se optimizan las reacciones dando lugar a mayor producción de biogás.

El proceso de BA puede llevarse a cabo a diferentes temperaturas divididas en tres rangos según se indica en la Tabla 32.

Tabla 31. Sólidos totales promedios contenidos en diversos residuos.

Fuente. (Varnero Moreno, 2011) y (Chungandro Nacaza & Manito Cahuatijo, 2010)

Elaboración. Del autor.

ORIGEN	MATERIA PRIMA	SÓLIDOS TOTALES % de materia fresca	SÓLIDOS VOLÁTILES % de sólidos totales
Animal	Bovinos	13.4 – 56.2	83.0 – 85.0
	Porcinos	15.0 – 49.0	77.0
	Aves	26.0 – 92.0	61.0 – 77.0
	Caprinos	83.0 – 92.0	0.0
	Ovejas	32.0 – 45.0	84.0
	Conejos	34.7 – 90.8	75.0
	Equinos	19.0 – 42.9	67.0
	Excretas humanas	17.0	-
Vegetal	Hojas secas	50.0	-
	Rastrojo de maíz	77.0	-
	Paja trigo	88.0 – 90.0	-
	Paja arroz	88.8 – 92.6	-
	Paja de leguminosas	60.0 – 80.0	-
	Hojas de tuberculos	10.0 – 20.0	-
	Hojas de hortalizas	10.0 – 15.0	-
	Aserrín	74.0 – 80.0	60.0-80.0

Tabla 32. Rangos de temperatura en los procesos de fermentación anaerobia.

Fuente. (Varnero Moreno, 2011)

Elaboración. (Varnero Moreno, 2011)

FERMENTACIÓN	MÍNIMO °C	ÓPTIMO °C	MÁXIMO °C	TIEMPO DE FERMENTACIÓN Días
Psicrofílica	4 – 10	15 – 18	20 – 25	> 100
Mesofílica	15 – 20	25 – 35	35 – 45	30 – 60
Termofílica	25 – 45	50 – 60	75 – 80	10 - 15

Dentro de cada rango de temperatura existe un intervalo para el cual la tasa de crecimiento de metanógenos se maximiza tal como indica la Figura 12.

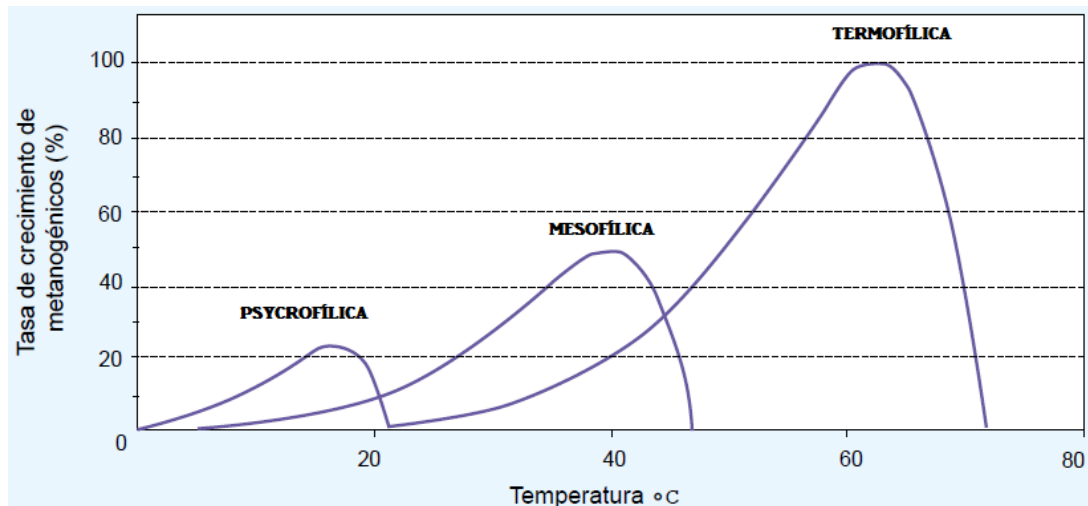


Figura 12. Tasa de crecimiento de metanógenos en los diferentes rangos de temperatura,

Fuente. (Varnero Moreno, 2011)

Elaboración. (Varnero Moreno, 2011)

La estabilidad de la temperatura es fundamental en la BA por lo que usualmente es necesario emplear un equipo regulador para mantener estable la temperatura (Al Seadi, y otros, 2008).

El rango psicrófilico ha sido poco estudiado y se plantea como poco viable debido al gran tamaño del reactor necesario, sin embargo presenta menores problemas de estabilidad que en los otros rangos de temperatura. El rango Mesofílico es el más empleado aunque paulatinamente es el termofílico el preferido en los procesos de BA a nivel industrial, sin embargo los procesos en estos rangos de temperaturas son inestables, demandan grandes cantidades de energía para su calentamiento y hay grandes riesgos de inhibición por generación de amonio (Al Seadi, y otros, 2008) y (Varnero Moreno, 2011).

(Varnero Moreno, 2011) indica que como regla general la actividad biológica se duplica con cada incremento de 10 °C y que para un óptimo funcionamiento del digester este debe diseñarse para que opere con variaciones de temperatura que no excedan los 0.6 – 1.2 °C/día.

En la Figura 13 se proporcionan los porcentajes acumulados de producción de biogás y metano en los diferentes rangos de temperatura.

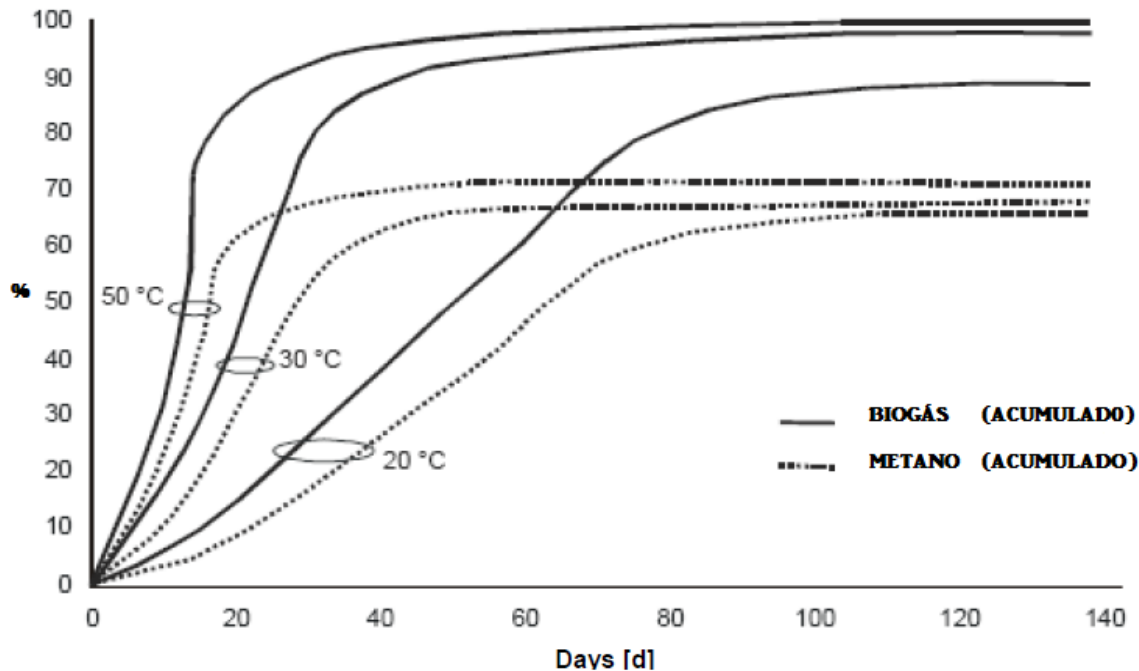


Figura 13. Porcentaje acumulado de producción de biogás y metano en los diferentes rangos de temperatura.

Fuente. (Al Seadi, y otros, 2008)

Elaboración. (Al Seadi, y otros, 2008)

2.2.6.5. Potencial Hidrógeno (pH)

El pH en el digester además de determinar la cantidad de biogás generado determina la composición del mismo como se indica en la Figura 14.

(Al Seadi, y otros, 2008) y (Varnero Moreno, 2011) coinciden que durante el proceso de BA el pH del sustrato puede oscilar entre 5.5 a 8.5 dependiendo de la etapa en la que se encuentre, definiéndose los siguientes rangos óptimos:

- Etapa acidogénica: pH 5.5 – 6.5
- Etapa metanogénica: pH 7.8 – 8.2

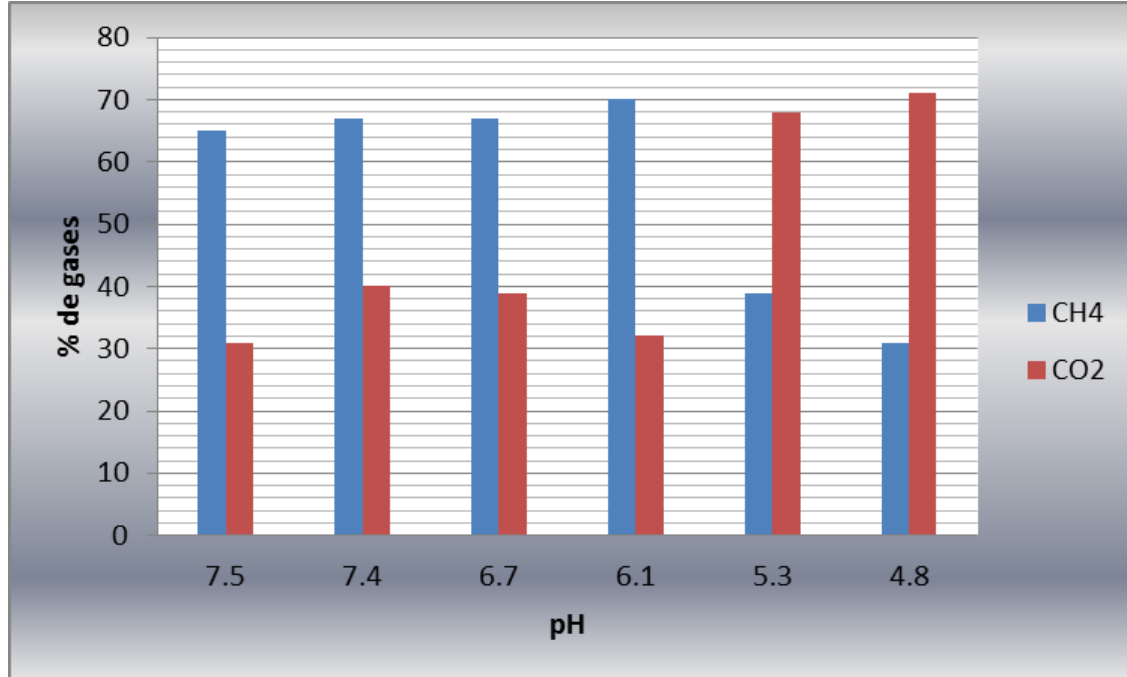


Figura 14. Composición del biogás en función del pH en una mezcla guano – tuna.

Fuente. (Varnero Moreno, 2011)

Elaboración. Del autor.

Para cultivos mixtos en digestores de una etapa el pH óptimo es de 6.8 a 7.4 siendo el pH neutro el ideal.

Los microorganismos metanogénicos son más susceptibles a las variaciones de pH que los otros microorganismos de la comunidad anaeróbica. El proceso de BA se ve adversamente afectado con pequeños cambios del pH fuera del rango óptimo de fermentación.

El pH puede controlarse durante el proceso de BA con un sistema de monitoreo y la adición de un agente alcalino.

2.2.7. Promotores e Inhibidores de la Fermentación Anaerobia

La producción de biogás puede incrementarse o restringirse por la acción de determinados factores o agentes durante el proceso de BA.



2.2.7.1. Promotores

En la Tabla 33 se indican los principales promotores de la biodigestión anaerobia para la obtención de biogás.

Tabla 33. Principales promotores de la biodigestión anaerobia.

Fuente. Varias fuentes.

Elaboración. Del autor.

PROMOTOR	EFEECTO
Picado	(Corace, Aeberhard, Martina, Ventín, & García Solá, 2006) y (Rivas Solano, Faith Vargas, & Guillén Watson, 2010) han demostrado que mientras menor es el tamaño de partícula de las materia a digerir mejora la accesibilidad biológica y el flujo del sustrato.
Mezclado	(Varnero Moreno, 2011) y (Hashimoto, Keros, Ostahowski, Raubinger, & Ying, 2009) indican que agitar el sustrato durante el proceso de BA remueve los metabolitos generados por los metanógenos, mezcla el sustrato fresco con las colonias bacterianas, evita la formación de espacios “muertos” sin actividad biológica, previene la formación de espumas y sedimentos en el reactor.
Inoculación	El tiempo de biodigestión puede acortarse a la vez que se incrementa la producción de biogás mediante la inclusión de material de otro digestor rico en bacterias metanogénicas que se encuentran en plena actividad. (Varnero Moreno, 2011) afirma que cuanto mayor sea la proporción y menor la edad del inóculo, mayor será la eficiencia.

Autores como (Granja Jimenez & Holtzapple, 2012) mencionan pre tratamientos efectuados sobre biomasas antes de que estas ingrese al bio digestor que aumentan notablemente la producción de biogás así como la composición de metano en el mismo.

2.2.7.2. Inhibidores

Hidrocarburos, metales pesados, antibióticos y detergentes en determinadas concentraciones pueden inhibir o interrumpir el proceso de BA (Fernández Villagómez, Vázquez Borges, & Martínez Pereda, 2002). En la Tabla 34 constan



valores referenciales de las concentraciones inhibitoras de algunos agentes presentes en los residuos y estiércoles.

Tabla 34. Concentración inhibitora de algunos elementos.

Fuente. (Chungandro Nacaza & Manito Cahuatijo, 2010)

Elaboración. (Chungandro Nacaza & Manito Cahuatijo, 2010)

ELEMENTO INHIBIDOR	CONCENTRACIÓN INHIBIDORA
SO ₄	5.000 ppm
NaCl	40.000 ppm
Nitrato	0,05 mg/ml
Cu	100 mg/l
Cr	200 mg/l
Ni	200 – 500 mg/l
ABS (detergente sintético)	20 – 40 mg/l
Na	3.500 – 5.500 mg/l
K	2.500 – 4.500 mg/l
Ca	2.500 – 4.500 mg/l
Mg	1.000 – 1.500 mg/l

2.2.8. Parámetros Operacionales del Biodigestor

2.2.8.1. Tiempo de Retención (TR)

Al ser la BA un proceso lento mientras más tiempo estén las sustancias en el interior del digestor mayor será la producción de gas en términos absolutos por unidad de sustrato. Menciona (Varnero Moreno, 2011) que el tiempo de retención de sólidos biológicos (TRSB) y el tiempo de retención hidráulico (TRH) como parámetros para determinar el lapso que la materia debe permanecer en el reactor.

El TRSB se determina al dividir el monto de materia orgánica o sólidos volátiles que ingresa al sistema para el monto que resulta extraído como efluente. Se asume que el TRSB representa el tiempo de retención promedio de los microorganismos en el digestor. Es necesario aclarar que si el TRSB es demasiado corto las bacterias metanogénicas son diluidas o eliminadas con el efluente.



El TRH es el resultado de dividir el volumen del biodigestor dividido por la carga diaria tal como se muestra en la Ecuación 3.

Ecuación 3. Cálculo del tiempo de retención hidráulico.

Fuente. (Al Seadi, y otros, 2008)

$$TRH = \frac{V_R}{V}$$

Donde:

TRH = *tiempo de retención hidráulico*

V_R = *volumen del reactor*

V = *volumen de sustrato ingresado por unidad de tiempo*

El tiempo de retención depende también de la temperatura ya que a mayor temperatura en el proceso el TR disminuye. En la Tabla 35 se proporcionan valores recomendados de tiempos de retención según la temperatura en la que se efectúa el proceso de BA para la obtención de biogás.

Tabla 35. Tiempo de retención según la temperatura de fermentación.

Fuente. (Martí Herrero, 2008)

Elaboración. (Martí Herrero, 2008)

REGIÓN CARACTERÍSTICA	TEMPERATURA °C	TIEMPO DE RETENCIÓN DÍAS
Trópico	30	20
Valle	20	30
Altiplano	10	60

2.2.8.2. Carga Orgánica (CO)

El escogimiento del tamaño del digestor, tipo y el TRH está basado en la posibilidad de obtener la mayor cantidad de biogás y el reactor más económico.



La carga orgánica es el volumen de sustrato incorporado diariamente al digestor. Como se observa en la Ecuación 3 la relación entre el TRH y el CV es inversamente proporcional por lo que al aumentar la CO disminuye el TRH. En este sentido la CO es un parámetro operacional que indica cuanta materia seca debe alimentarse en el reactor por volumen y unidad de tiempo de acuerdo con la Ecuación 4.

Ecuación 4. Determinación de la carga orgánica al reactor.

Fuente. (Al Seadi, y otros, 2008)

$$CO = m \frac{c}{V_R}$$

Donde:

CO = carga orgánica [$\frac{kg}{día \cdot m^3}$]

V_R = volumen del reactor [m^3]

c = concentración de materia orgánica [%]

m = masa de sustrato ingresado por unidad de tiempo [$\frac{kg}{día}$]

2.3. La Biodigestión Anaerobia del Jacinto de Agua

Existe diversa información relacionada con la biodigestión anaerobia del Jacinto de Agua correspondiente a estudios desarrollados principalmente en los países donde esta especie es considerada una plaga incontrolable como India, China, Nigeria y Brasil.

Se ha efectuado el proceso de fermentación con diferentes parámetros operacionales, factores críticos, pre tratamientos e inoculantes demostrando un interesante potencial en la obtención de biogás.

Demostraron (Granja Jimenez & Holtzaple, 2012) que la biodigestión anaerobia del Jacinto de Agua en condiciones Mesofílicas puede generar 197.25 ml CH₄/g SV alimentados al reactor. Los mismos autores indican que proporcionando un pre tratamiento con cal al JA la producción de biogás incrementa a 433.35 ml CH₄/g SV alimentados al reactor.



Indican (Dirar & El Amin, 1987) que son los lodos residuales de la biodigestión anaerobia del JA el inoculante que induce la generación del mayor volumen de biogás. Este inoculante fue comparado con líquidos estomacales de animales y las aguas residuales de lodos digeridos. El valor obtenido fue 391.92 ml CH₄/g ST alimentados al reactor. El pre tratamiento que sufrió la biomasa fue una deshidratación parcial a temperatura ambiente.

Mencionan (El Amin & Dirar, 1987) que puede obtenerse biogás del Jacinto de Agua de manera satisfactoria para fines prácticos en un rango de biodigestión entre 25°C a 37°C.

No existe disponible información relacionada con la biodigestión anaerobia del JA en condiciones psicrófilicas, sin embargo existen estudios para otros tipos de biomasa que indican que la fermentación en estas condiciones genera biogás y fertilizantes con características aprovechables. Por ejemplo (Martí Herrero, 2008) lleva a cabo el proceso de BA con estiércol de ganado a más 4.500 m.s.n.m en el altiplano Boliviano generando biogás para cocción de alimentos a nivel doméstico.

Conclusiones preliminares del capítulo

1. La biomasa es un recurso renovable útil en la producción de bio combustibles, sin embargo no todas pueden considerarse como eficientes en la elaboración de combustibles. El atributo más importante es que no debe competir con la oferta de alimentos para los humanos, es decir la misma biomasa es un recurso alimentario.
2. La fermentación anaerobia es un proceso biológico natural aplicado desde hace siglos por el ser humano para la limpieza anaerobia de residuos y producción de biogás para calentamiento de agua y cocción.
3. Resultado de la fermentación anaerobia se genera un gas combustible y residuos fertilizantes, que pueden ser explotados con fines productivos. El gas se denomina comúnmente “biogás” y es el metano su componente combustible.



Capítulo III. Procesamiento de la Biomasa

3.1. Tasa de Crecimiento y Biomasa Disponible

Estimar la tasa de crecimiento y reproducción del Jacinto de Agua en el embalse de la represa Daniel Palacios, es un criterio fundamental para el dimensionamiento de cualquier proyecto de explotación de esta fuente de biomasa en el largo plazo.

Como se indica en el punto 1.4.7, todos los parámetros para el crecimiento de la especie en el embalse son ideales a excepción de la temperatura. (De Souza Silva, 2008) al monitorear el crecimiento del JA a distintas temperaturas indica que a 13 °C el incremento de masa seca es aproximadamente de 2 g/m².día.

Considerando que el JA tiene una humedad aproximada del 90% la cantidad de masa fresca generada por día es de $2 \times (100/10) = 20 \text{ g/m}^2\text{.día}$.

Según (Torres Abad, 2009) teóricamente el 67% del embalse Amaluza se encuentra cubierto con JA, esto es 220.836 m² aproximadamente, que generarían $(20 \times 220.836)/1000 = 4.416,72 \text{ kg/día}$ de masa fresca de Jacinto de Agua.

3.2. Procedimiento Experimental de Fermentación Anaerobia del Jacinto de Agua en condiciones Psicrófilas.

La determinación del volumen de biogás generado por la BA del Jacinto de Agua en condiciones psicrófilas se efectuó de manera experimental empleando como reactores dos tanques metálicos de 55 galones.

En uno de los reactores se ejecutó un proceso de codigestión empleando un sustrato conformado por JA y un medio inoculante, mientras que en el segundo solo se fermentó al vegetal puro como testigo de control.

El procedimiento fue el siguiente:

3.2.1. Preparación de reactor

1. Los tanques servían de envases para aceite mineral por lo cual fueron lavados con detergente biodegradable base cítrica ya que como se indicó anteriormente los hidrocarburos pueden resultar como inhibidores de la biodigestión.

2. Se eliminaron los residuos de detergente con abundante agua ya que como los hidrocarburos estos también pueden ser inhibidores de la biodigestión.



Figura 15. Preparación de tanques reactores.

Fuente. Del autor.

Elaboración. Del autor.

3. Se pintaron los tanques de color negro para que capten la mayor cantidad de energía radiante del ambiente.
4. Se colocaron sobre un palet de madera para facilitar su movilización en caso de ser necesario y fueron dispuestos en un galpón por seguridad. En el mencionado galpón los tanques se encontraban parcialmente expuestos a los elementos ya que durante medio día recibían sol.



Figura 16. Tanques pintados sobre palet de transporte.

Fuente. Del autor.

Elaboración. Del autor.

5. Con fines de identificación, el tanque que contendría el sustrato inoculado fue rotulado como "TA"; mientras que el segundo con JA sin inóculo se identificó como "TC".

3.2.2. Preparación del sistema de medición

1. Para estimar la producción de biogás se emplearía la Ecuación 5 correspondiente a la ley de los gases ideales como lo hicieron (Corace, Aeberhard, Martina, Ventín, & García Solá, 2006) y (Crespo Astudillo, 2010) en estudios similares.
2. La medición de la presión en el interior de los reactores se efectuó a través de un manómetro analógico de 0 a 10 mH₂O y resolución de 0.05 previamente calibrado en un laboratorio metrológico.



Figura 17. Manómetro empleado para la medición de la presión.

Fuente. Del autor.

Elaboración. Del autor.

3. La temperatura ambiental y de los tanques fue monitoreada con un termo higrómetro digital con sonda exterior. Resulta importante medir la temperatura del gasómetro ya que este valor intervendrá en el cálculo del biogás generado.
4. El sistema cuenta con una válvula esférica de cierre rápido de 150 WOG para impedir el escape de los gases cuando se retire el manómetro o para proceder a aliviar el tanque cuando sea necesario.



Figura 18. Termohigrómetro empleado para la medición de la temperatura.

Fuente. Del autor.

Elaboración. Del autor.

Ecuación 5. Ecuación de los gases ideales.

$$PV = nRT$$

Dónde:

- P = presión manométrica en el reactor $\left[\frac{kg}{cm^2}\right]$
 V_R = volumen del reactor $[cm^3]$
 n = número de moles de gas $[mol]$
 R = constante de los gases ideales $\left[\frac{cm^3}{K} \frac{kg}{mol}\right] = 84.808$
 T = temperatura del reactor $[^{\circ}K]$

3.2.3. Preparación de las biomasas

1. Fue extraído el Jacinto de Agua del embalse de la represa Daniel Palacios. Se emplearon indistintamente todas las partes del vegetal y ejemplares de distintos tamaños.
2. Para promover la biodigestión el JA fue triturado empleando un procesador de alimentos y una moto desbrozadora hasta un tamaño de partícula aproximado de 6.4 mm como refiere (Granja Jimenez & Holtzapple, 2012) en su investigación. La disminución en el volumen del vegetal fue notable una vez triturado ya que disminuye más del 70 %. Adicionalmente, solo con el triturado, el vegetal perdió gran cantidad de agua, que sumado a una deshidratación parcial a cielo abierto se logró igualar el contenido de humedad de la biomasa con la del inóculo de aproximadamente 60 %. La medición fue efectuada con un higrómetro digital.



Figura 19. Jacinto de Agua triturado.

Fuente. Del autor.

Elaboración. Del autor.

3. El medio inoculante fue estiércol de conejillo de indias (cuy) ya que (Crespo Astudillo, 2010) indica que las bacterias de los estómagos de este animal generan mayor cantidad de biogás cuando son empleados en procesos de fermentación anaerobia en condiciones psicrófilas comparadas con los correspondientes a vacuno, trucha o alpaca. El estiércol también fue triturado a un tamaño de partícula de 6.4 mm mediante un procesador doméstico de alimentos. El contenido de humedad del estiércol fue aproximadamente del 60 % debido a que estaba saturada con orina del animal. El contenido de humedad fue determinado con un higrómetro digital.

Para un proyecto de explotación continua debe evaluarse previamente la posibilidad de usar como inoculante los lodos activados de procesos de biodigestión de sustratos como el mencionado anteriormente, ya que resultaría más práctico su uso que alimentar el biodigestor en cada lote con estiércol de cuy.



Figura 20. Picado del estiércol de cuy.

Fuente. Del autor.

Elaboración. Del autor.



4. Luego de trituradas las biomásas, mediante una probeta y una balanza digital se determinó la densidad del JA y el estiércol de cuy siendo 800 g/l y 525 g/l respectivamente. Este valor sirvió posteriormente para preparar las mezclas en las proporciones deseadas.

Llenado del reactor TA (codigestión del Jacinto de Agua y estiércol de cuy)

1. Autores como (Rodríguez, El Atrach, Rumbos, & Delepiani, 1995) y (Almoustapha, Kenfack, & Millogo-Rasolodimby, 2008) utilizaron un sustrato de JA y material inoculantes en una proporción de 3:1 en sus experimentos, sin embargo al llevarse a cabo la fermentación en condiciones psicrófilicas se asume conveniente incrementar la proporción del inoculante para contar con una población bacteriana inicialmente superior. Así se empleó JA y estiércol en proporción de 7:3 como (Kivaisi & Mtila, 1998) emplearon en sus experimentos.
2. Se añadió agua desclorificada al sustrato en una proporción de 3:1 como empleo (Ofoefule, Uzodinma, & Onukwuli, 2009) en su estudio.
3. Los reactores fueron llenados en un 70 % dejando el espacio restante libre como gasómetro para la acumulación de biogás tal como recomienda (Corace, Aeberhard, Martina, Ventín, & García Solá, 2006) en su investigación.
4. A partir del volumen del reactor y los parámetros antes mencionados se determinaron las cantidades de JA, estiércol y agua en base a los siguientes cálculos:

$$V_{reactor} = V_{gasómetro} + V_{sustrato}$$

Pero:

$$V_{reactor} = 55 \text{ gal} \quad ; \quad V_{gasómetro} = 0.3 V_{reactor}$$

Entonces:

$$55 = 0.3(55) + V_{sustrato}$$

$$V_{sustrato} = 38.5 \text{ gal} \rightarrow 146.3 \text{ l}$$

$$V_{sustrato} = V_{H_2O} + V_{JA} + V_{estiercol}$$



Pero:

$$\frac{V_{H_2O}}{V_{JA+V_{estiercol}}} = \frac{3}{1}; \quad \frac{V_{Jacinto\ de\ agua}}{V_{estiercol}} = \frac{7}{3}; \quad \delta = \frac{m}{V};$$

$$\delta_{Jacinto\ de\ agua} = 0.8 \frac{kg}{l}; \quad \delta_{estiercol} = 0.525 \frac{kg}{l}$$

Entonces:

$$146.3 = 3V_{JA} + 3V_{estiercol} + V_{JA} + V_{estiercol}$$

$$146.3 = 4V_{JA} + 4V_{estiercol}$$

$$V_{JA} + V_{estiercol} = 36.575 \text{ l}$$

$$V_{JA} + \frac{3}{7}V_{JA} = 36.575$$

$$\frac{10}{7}V_{JA} = 36.575$$

$$V_{JA} = 25.6 \text{ l} \quad ; \quad V_{estiercol} = 10.97 \text{ l}$$

$$m_{JA} = 20.5 \text{ kg} \quad ; \quad m_{estiercol} = 5.76 \text{ kg}$$

Llenado del reactor de control TC (fermentación del Jacinto de Agua sin inoculo)

1. El llenado del tanque se lo efectuó con las mismas consideraciones que para el reactor TA respecto al volumen del gasómetro y proporción de agua.
2. La cantidad de jacinto de agua introducida corresponde al total de biomasa (JA + estiércol) determinada para los reactores A y B por lo tanto son 26.26 kilogramos de JA.

3.2.4. Tiempo de retención experimental

Fue definido el proceso de reacción y monitoreo de la biodigestión en 90 días, 30 días más de lo recomendado por (Martí Herrero, 2008) para zonas con promedios de temperaturas de 10°C con la finalidad de mejorar las condiciones de los bioabonos y extraer un volumen de biogás superior.



La fermentación se efectuó en los días comprendidos entre el 05 de junio al 02 de septiembre del año 2012.

3.3. Reducción de la biomasa

Una vez transcurridos los 90 días de biodigestión y luego de quemar el biogás generado, se abrieron los tanques de reacción observándose una reducción en el volumen de la biomasa de su interior y por ende un aumento en el espacio destinado como gasómetro.

El $V_{\text{Gasómetro en } t=1 \text{ día}} = 62959.4803 \text{ cm}^3$ mientras que $V_{\text{Gasómetro en } t=90 \text{ días}} = 78402.3717 \text{ cm}^3$ para la mezcla de Jacinto de agua con estiércol de cuy y $V_{\text{Gasómetro en } t=90 \text{ días}} = 773650.7128 \text{ cm}^3$ para el tanque de control con Jacinto puro. Esto corresponde a un aumento del 24.52 % y 16.98 % respectivamente en el volumen del gasómetro.

El valor del aumento en el volumen del gasómetro, es equivalente al valor del volumen de la reducción de la biomasa.

Para cada día de la biodigestión se estimó el volumen disponible como gasómetro en el interior de los reactores. Para este fin se generó una función lineal de aproximación empleando los datos indicados en la Tabla 36.

Tabla 36. Datos para estimación del volumen del reactor.

Fuente. El autor

Elaboración. Del autor

Tiempo (t)	Volumen ($V_{JA+estiercol}$)	Volumen (V_{JA})
Días	cm^3	cm^3
0	62959.4803	62959.4803
90	78402.3717	73650.7128

Se empleó la Ecuación 6 para construir la función de aumento del volumen del gasómetro.



Ecuación 6. Pendiente de una recta.

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

Las ecuaciones que se presentan a continuación determinan el volumen de los gasómetros.

Ecuación 7. Aumento del volumen del gasómetro tanque A.

$$V_{JA+estiercol} = 78402.555 - 205.9057(90 - t)$$

Ecuación 8. Aumento del volumen del gasómetro tanque de control.

$$V_{JA} = 73650.883 - 142.5501(90 - t)$$

3.4. Temperatura ambiental durante la fermentación

En la Figura 21 se indica el comportamiento de la temperatura ambiental durante cada día en el que se efectuó la reacción anaerobia.

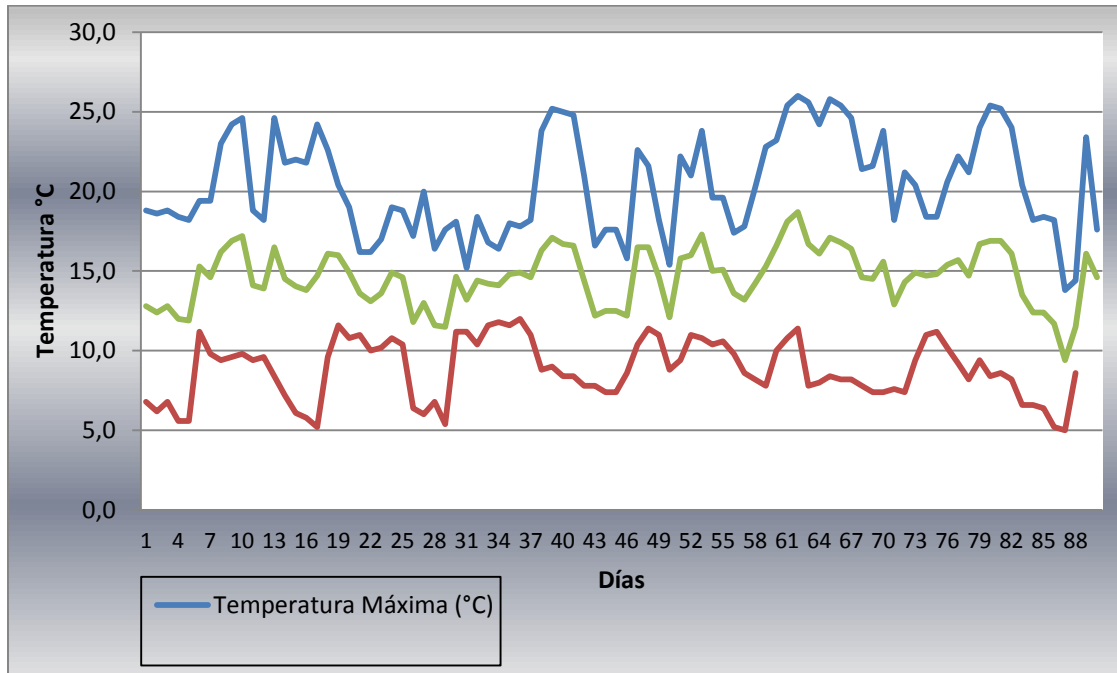


Figura 21. Comportamiento de la temperatura ambiental durante los días de fermentación.

Fuente. Estación meteorológica del campamento Guarumales.

Elaboración. Del autor

Como se observa en el gráfico anterior en la temperatura diaria promedio no supera los 20 °C. Esta condición define que los procesos de biodigestión anaerobia en condiciones naturales son netamente psicrófilos.

3.5. El Biogás del Jacinto de Agua

Concluidos los 90 días de reacción, se desarrollaron las curvas de generación de biogás indicadas en la Figura 22.

Se aprecia que la cantidad de biogás generado a partir del sustrato conformado por Jacinto de Agua y estiércol fue superior al del Jacinto de Agua puro, el total aproximado producido fue de 8.8 y 2.6 moles respectivamente.

Adicionalmente se observa que la producción de biogás correspondiente al sustrato de Jacinto de Agua y estiércol inicia en el día 16 mientras que el Jacinto de Agua puro emitió una cantidad significativa de biogás en el día 45.

Durante todo el proceso de fermentación, el biogás generado del sustrato de lechuguín puro despidió un hedor característico a huevo podrido, sin embargo resulta interesante que el sustrato con estiércol mantuvo un olor similar solo hasta el día 19; a partir de este día el olor no resultaba molesto y se podría comparar con el metilmercaptano que se aditiva por seguridad al gas doméstico.

El biogás obtenido de los diferentes sustratos es combustible y la flama de cada uno de estos no evidenció alguna diferencia cualitativa. La imagen de la flama obtenida se proporciona en la Figura 23.

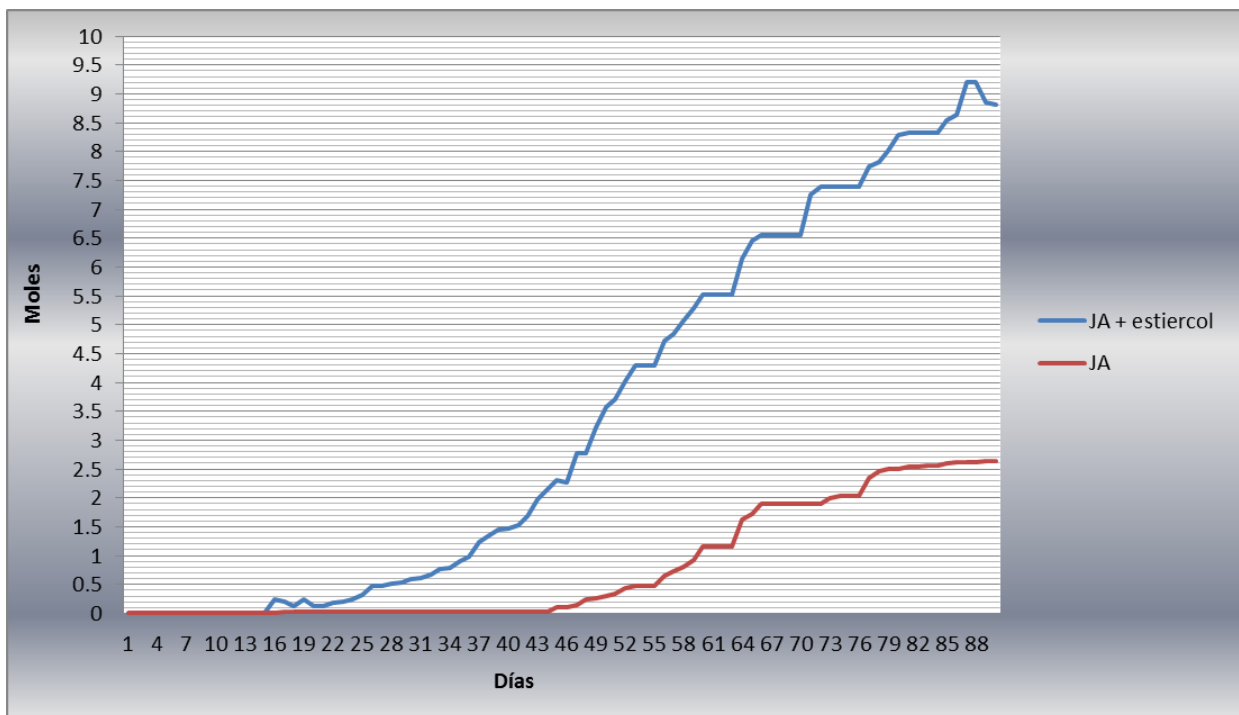


Figura 22. Generación de biogás de los diferentes sustratos.

Fuente. Del autor.

Elaboración. Del autor.



Figura 23. Características de la flama obtenida de la combustión del biogás generado.

Fuente. Del autor.

Elaboración. Del autor.

3.5.1. Calidad del biogás generado

El biogás generado de cada sustrato fue evaluado a través de una prueba de calentamiento de agua.

Desde el tanque reactor se conectó la hornilla indicada en la Figura 24 y el procedimiento para cuantificar la capacidad del biogás fue:

1. Colocación de un vaso metálico en la hornilla y llenado con un volumen de 250 ml de agua que fue calentado con biogás hasta ebullición.
2. Medición de la presión inicial y final del tanque reactor para determinar el volumen de biogás empleado en la prueba de calentamiento.
3. Medición del tiempo que demoró la ebullición del agua desde que comenzó la combustión. El registro de temperatura y tiempo se efectuó con una cámara termográfica FLIR determinándose que el agua hierve a los 94 °C ya que la región en la que se efectuó el experimento se aproxima a los 1.500 m.sn.m.



Figura 24. Sistema para la quema del biogás.

Fuente. Del autor.

Elaboración. Del autor.

Los datos experimentales obtenidos se resumen en la Tabla 37. La tasa de consumo (T_c) de biogás se calculó empleando la Ecuación 9. Los valores obtenidos fueron de 0.04 moles/min y 0.07 moles/min para los sustratos de JA + estiércol y JA puro respectivamente.

Tabla 37. Resultados experimentales de la ebullición de agua con biogás.

Fuente. Del autor.

Elaboración. Del autor.

PARÁMETRO	SUSTRATO		
	JA + estiércol	JA puro	
Volumen inicial de agua	ml	250 ml	250 ml
Temperatura ambiental	°C	16.5	16.5
Temperatura inicial del agua	°C	18	18
Temperatura final del agua	°C	94	94
Presión inicial del tanque	kg/cm ²	0.425	0.745
Presión final del tanque	kg/cm ²	0.305	0.505
Tiempo	min	10.5	10.25
Volumen	cm ³	78402.555	73650.883
Cantidad inicial de gas	mol	1.35647179	2.23370518
Cantidad final de gas	mol	0.97346799	1.5141223



Ecuación 9. Tasa de consumo de biogás.

$$T_c = \frac{\text{Cantidad inicial de gas} - \text{Cantidad final de gas}}{\text{Tiempo de quema}}$$

Es importante resaltar que para llevar a ebullición un mismo volumen de agua, se necesitó una menor cantidad del biogás obtenido del sustrato JA + estiércol que del generado del JA puro. Se requirió un 42.85% menos, por lo tanto para los cálculos posteriores no será considerado el resultado obtenido de la fermentación del Jacinto puro.

La producción de biogás transcurrido el tiempo de retención del experimento fue de 8.8 moles a partir de 26.26 kg de biomasa esto es $\frac{8.8 \text{ mol}}{26.26 \text{ kg}} = 0.335 \frac{\text{moles de biogás}}{\text{kg de biomasa}}$.

En términos diarios la producción de biogás promedio será $\frac{0.335 \frac{\text{mol}}{\text{kg}}}{90 \text{ día}} = 0.00372 \frac{\text{mol}}{\text{kg.día}}$.

3.5.2. Estimación de la capacidad calórica del biogás

Para la caracterización experimental del biogás se empleó cromatografía de gases. La muestra se tomó a los 90 días de fermentación, para lo cual se recurrió al laboratorio independiente LABCESTTA en la provincia de Chimborazo. Los niveles de metano y CO₂ fueron determinados mediante un cromatógrafo detector de conductividad térmica, mientras que los sulfuros se determinaron con un cromatógrafo iónico marca THERMO.

Se resume en la Tabla 38 los resultados experimentales.

Tabla 38. Resultados experimentales del biogás obtenido.

Fuente. Datos experimentales.

Elaboración. Del autor.

COMPUESTO	RESULTADO
CH ₄	25 %
CO ₂	15 %
S ⁻²	12 ppm



Es posible que el resto de componentes del biogás sean hidrógeno y vapor de agua.

En base a los datos indicados en la Tabla 38 y considerando que el metano tiene un poder calorífico inferior de 8500 kcal/m^3 se estima que el biogás obtenido tiene un poder calorífico de $25 \% \times 8500 = 2125 \text{ kcal/m}^3$.

Analizando estudios de (Maioli, Pulfer, & Mitjans, 2011) relacionados con el aprovechamiento del biogás de Jacinto de Agua para generación eléctrica, indican que el mínimo valor calórico del biogás es 6.4 kWh/m^3 o 5.503 kcal/m^3 , por lo tanto se deduce que el biogás obtenido es pobre y no apto para generación eléctrica.

3.6. Los bioabonos del Jacinto de Agua

Al día 90 se abrieron los tanques para recolectar los bioabonos, notándose aun claramente las partes y fibras de las biomásas. Presentaban un hedor molesto similar al de una alcantarilla. De cada tanque se tomaron una muestra del biol y biosol para su caracterización como fertilizante en laboratorio.

Adicionalmente se efectuaron pruebas de contenido de metales pesados para determinar su presencia en los residuos, ya que de estar presentes en proporciones fuera de norma restringirían el uso de los fertilizantes.

Para valorar el poder fertilizante de los bioabonos obtenidos, en la Tabla 39 se proporciona la comparación con un fertilizante comúnmente empleado en el Ecuador, la gallinaza.

Tabla 39. Comparación de poder fertilizante de los bioabonos frente a la gallinaza.

Fuente. Varias fuentes.

Elaboración. Del autor.

PARÁMETRO	FERTILIZANTE				
	Gallinaza %	Biol JA %	Biol JA + estiércol %	Biosol JA %	Biosol JA + estiércol %
Nitrógeno	4,000	0,003	0,003	0,400	0,389
Fósforo	2,600	0,000	0,000	0,018	0,017
Potasio	2,300	0,033	0,048	0,493	1,001
Total global	8,900	0,036	0,051	0,911	1,407



Los resultados obtenidos son notoriamente bajos en relación a las propiedades de la gallinaza. Globalmente los mejores valores experimentales corresponden al biosol obtenido de la fermentación de la mezcla Jacinto de Agua con estiércol.

Si bien los bioabonos no tienen un valor fertilizante significativo estos pueden ser considerados como mejoradores de suelos incrementando la permeabilidad de los terrenos, aportando materia orgánica y microorganismos como indica (Alvarado Carrión, 2013) en su estudio.

Previo su empleo los bioabonos deben estabilizarse, para lo cual deberá evaluarse la posibilidad de compostar los residuos de manera posterior al proceso de biodigestión. Esto puede efectuarse en los proyectos de inclusión socio económico que desarrolla la Unidad de Negocio HidroPaute con comunidades aledañas para la producción de compost, humus o bocashi.

3.6.1. Metales pesados presentes en los bioabonos

El análisis elemental de los bioabonos obtenidos se proporciona en la

Tabla 40.

El Texto Unificado Legislación Secundaria, Medio Ambiente Parte I del Ecuador indica que los metales pesados como cadmio, cobre, zinc, hierro, plomo entre otros son tóxicos en concentraciones reducidas y tienden a la bioacumulación, sin embargo en mencionado texto no hay referencia para el empleo de fertilizantes.

El Real Decreto Español 1310/90 tiene una regulación específica para el uso agrario de lodos (bioabonos). Los límites permisibles se indican en la Tabla 41.

Comparando los resultados experimentales con los disponibles en legislaciones relacionadas se establece que no existen restricciones en el empleo como fertilizantes de los bioabonos al no superar los límites establecidos para metales pesados.

Tabla 40. Análisis elemental de los bioabonos del Jacinto de Agua

Fuente. Datos experimentales.

Elaboración. Del autor.

MUESTRA	Humedad	Cenizas	pH	Amonio	P	N Total	K	Na
	%	%		LD 0.43 ppm	LD 4.7 PPM	LD 0.43 ppm	LD 0.22 PPM	LD 0.50 PPM
Biol JA	99.66	0.17	7.53	12.39	< LD	30.75	337.69	26.91
Biol JA + estiércol	99.40	0.30	8.39	15.25	< LD	38.04	483.10	42.43
Biosol JA	92.88	1.59	7.89	83.79	184.47	4001.97	4930.95	453.77
Biosol JA + estiércol	92.46	1.55	7.83	75.90	173.02	3896.61	10016.88	348.31
MUESTRA	Ca	Mg	Fe	Zn	Ni	Cu	Pb	Cd
	LD 0.24 PPM	LD 0.40 PPM	LD 0.40 PPM	LD 23.18 PPB	LD 0.10 PPM	LD 2 PPB	LD 4 PPB	LD 2 PPB
Biol JA	77.02	39.02	3.74	55.31	< LD	113.55	58.78	4.54
Biol JA + estiércol	28.44	54.92	0.85	54.85	< LD	57.13	25.20	< LD
Biosol JA	6828.48	1237.74	21.11	1896.54	< LD	986.74	198.35	19.24
Biosol JA + estiércol	7077.70	885.62	15.57	1410.42	< LD	691.75	181.69	51.32

Tabla 41. Límites de metales pesados presentes en lodos para uso agrícola en mg/kg.

Fuente. Real Decreto 1210/90, adaptación de la directiva 86/278/CEE

Elaboración. Real Decreto 1210/90, adaptación de la directiva 86/278/CEE

ELEMENTO	LODOS		ELEMENTO	LODOS	
	PH<7	PH>7		PH<7	PH>7
Cadmio	20	40	Zinc	2500	4000
Cobre	1000	1750	Mercurio	16	25
Níquel	300	400	Cromo	1000	1500
Plomo	750	1200			



Conclusiones Preliminares del Capítulo

1. El biogás obtenido con un 25 % de metano en su composición puede considerarse como pobre y su aprovechamiento directo como combustible para generación eléctrica no es posible. El combustible puede emplearse para calentamiento o cocción.
2. Existen varios factores que influyen el proceso de fermentación anaerobia y de generación de biogás, los cuales técnicamente aplicados pueden incrementar notablemente la producción de biogás, así como el porcentaje de metano que lo compone.
3. Los biodigestores son el equipamiento empleado para llevar a cabo el proceso de fermentación anaerobia. Existen varios tipos de biodigestores, desde muy tecnificados hasta rudimentarios.
4. La Biodigestión del Jacinto de Agua bajo condiciones psicrófilas produce un biogás combustible cuyas características pueden mejorarse notablemente, cuando al sustrato se le añade estiércol de cuy como medio inoculante.
5. Fermentar anaeróticamente Jacinto de Agua con estiércol acelera notablemente el proceso de generación de biogás, aumenta la producción del mismo y reduce los malos olores del proceso.
6. Los bioabonos resultantes del proceso de fermentación anaerobia del Jacinto de Agua presentan valores pobres de nitrógeno, fósforo y potasio por lo que presenta pobres características fertilizantes en comparación de otros como la gallinaza.
7. Los metales pesados presentes en los bioabonos resultantes no superan los límites permisibles para su uso agrario.



Capitulo IV. Procesamiento de la biomasa para la cocción de alimentos en el campamento Guarumales

En los capítulos anteriores se demostró que el Jacinto de Agua dispuesto en el embalse de la represa Daniel Palacios tiene un carácter de invasivo y que el biogás generado resultado de su fermentación anaerobia emite un gas combustible apto para la cocción de alimentos. En cuanto a los residuos generados se demostró que pueden ser empleados de forma directa como fertilizantes más su aporte en cuanto elementos NPK no es significativo.

En el presente capítulo se enfocará en el análisis de la explotación del Jacinto de Agua como combustible para la cocción de alimentos en el campamento Guarumales de la Unidad de Negocio HidroPaute.

4.1. Relación GLP - biogás

En el campamento Guarumales se emplea para cocción de alimentos GLP compuesto de un 70% de propano y un 30% de butano por lo tanto el poder calorífico del combustible se indica a continuación:

$$PCI_{GLP} = 0.7 PCI_{C_3H_{10}} + 0.3 PCI_{C_4H_{10}}$$

$$PCI_{GLP} = 0.7(22000 \frac{kcal}{m^3}) + 0.3 (28300 \frac{kcal}{m^3}) = 23890 \frac{kcal}{m^3}$$

Comparando el valor de $23890 \frac{kcal}{m^3}$ correspondiente al poder calorífico del GLP con el de $2125 \frac{kcal}{m^3}$ del biogás generado experimentalmente en el capítulo anterior se deduce que este es 11 veces superior.

4.2. Análisis del posible remplazo GLP por biogás.

En el punto anterior se indicó que la relación del poder calórico entre el biogás y el GLP es de 11:1 y considerando lo indicado en el punto 1.3.3, que la cantidad promedio requerida diariamente para la cocción de alimentos es de 58.33 kg se deduce que para su remplazo se requerirán 641.63 kg de biogás.



En términos molares 1 mol de GLP tiene una masa de 0.0483 kilogramos como se indica en los siguientes cálculos:

$$0.7 C_3H_8 + 0.3C_4H_{10} =$$

$$0.7(3(12.01) + 8(1.00797)) + 0.3(4(12.01) + 10(1.00797)) =$$

$$48.30 \frac{g}{mol} \rightarrow 0.0483 \frac{kg}{mol}$$

Entonces según lo indicado, la cantidad diaria requerida de GLP será de $(58,33 \text{ kg} \div 0,0483 \frac{kg}{mol}) = 1207,66 \text{ moles}$.

Manteniendo la misma proporción de 11:1 serán necesarios 13.284,26 moles de biogás diarios.

4.3. Balance de materia para satisfacer el sistema.

Para determinar el balance de materia requerida para satisfacer la demanda diaria de biogás de 13.284,26 moles se parte de lo siguiente:

- La aplicación será efectuada en un reactor de flujo continuo.
- La capacidad máxima diaria de producción de Jacinto de Agua en el embalse de la represa Daniel Palacios es de 4,416.72 *kg/día* y esta masa es introducida diariamente al reactor previa deshidratación parcial.
- La cantidad de biogás requerido diariamente para reemplazar al GLP es de 13.284.26 moles.
- El tiempo de retención en el reactor es de 90 días.

Entendiendo que al ser introducida diariamente la biomasa al reactor comienza el proceso de fermentación anaerobia y de igual manera los días siguientes la producción total estaría sujeta al modelo indicado en la Figura 25.

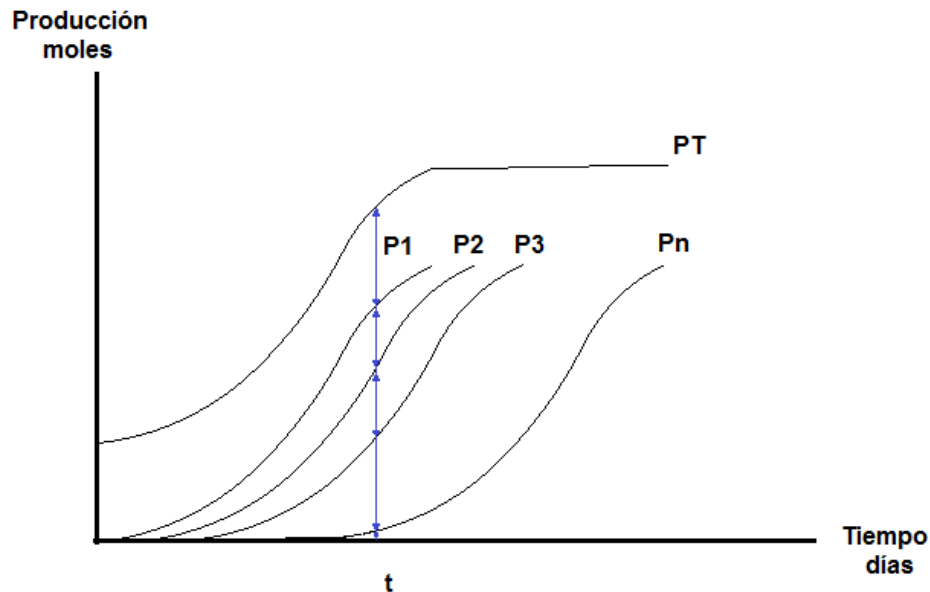


Figura 25. Modelo de generación de biogás en reactor de flujo continuo.

Fuente. Del autor

Elaboración. Del autor

Para un periodo de fermentación N la producción total de biogás PT equivale a la producción parcial de las biomazas introducidas al reactor cada día, así la producción se calculará empleando la Ecuación 10.

Ecuación 10. Producción total de biogás en un periodo

Fuente. Del autor

$$PT_N = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_N$$

Donde:

PT = producción total de biogás en el periodo N

P = producción parcial de biogás de una masa de JA alimentada un día en particular

N = días de producción

Aplicando el modelo en EXCEL observamos que la producción llega a un valor máximo y se estabiliza como se muestra en la Figura 26.

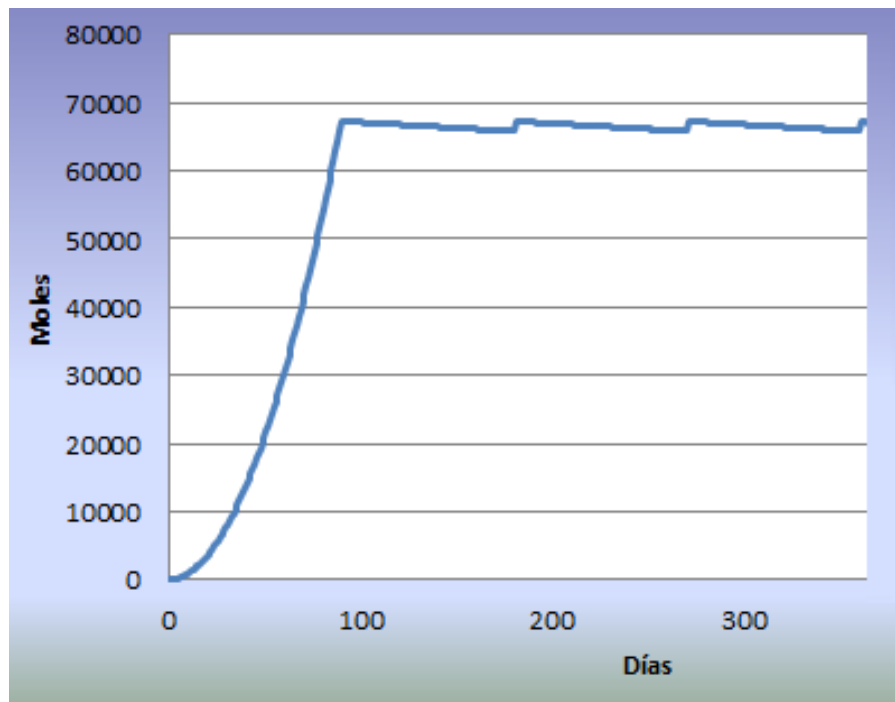


Figura 26. Producción de biogás en reactor continuo

Fuente. Del autor

Elaboración. Del autor

La mayor producción de biogás se genera al transcurrir los 90 días de biodigestión y alcanza un valor de 66.756,1 moles. Esto es una producción 5 veces mayor, por lo que se deduce que la biomasa generada diariamente es suficiente para satisfacer el combustible requerido por el sistema.

4.4. Cantidad de biomasa requerida.

La biomasa requerida por el sistema es inferior a la generada diariamente en el embalse, así aplicando los métodos del punto anterior se pueden deducir que:

- Para reducir el tiempo de retención y por ende el tamaño del reactor, fermentando la biomasa 56 días se obtuviera una producción constante de 13888 moles/día.



- Para disminuir el volumen de biomasa empleada sin afectar el tiempo de retención podrán explotarse 900 kg de biomasa que a los 90 días de retención producirían 13602 moles/día. Cabe recalcar que esta opción no permitiría controlar la sobrepoblación del Jacinto de agua.

Conclusiones Preliminares del Capítulo

1. Por el contenido de metano presente en el biogás obtenido experimentalmente su poder calorífico es 11 veces inferior al del GLP.
2. La masa de biogás requerida para satisfacer los requerimientos energéticos para la cocción de alimentos en el campamento Guarumales es de 13.284,26 moles.
3. La cantidad de biomasa que se genera diariamente en el embalse, una vez extraída y convertida en biogás puede cubrir la demanda energética requerida para la cocción de alimentos.
4. Para reducir el tiempo de retención y por ende el tamaño del reactor, fermentando la biomasa 56 días se obtuviera una producción constante de 13888 moles/día.
5. Para disminuir el volumen de biomasa empleada sin afectar el tiempo de retención podrán explotarse 900 kg de biomasa que a los 90 días de retención producirían 13602 moles/día. Cabe recalcar que esta opción no permitiría controlar la sobrepoblación del Jacinto de agua.



Capítulo V. Discusión

5.1. Conclusiones

1. El Jacinto de agua es una especie de carácter invasivo que se encuentra presente en los embalses de la Unidad de Negocio HidroPaute. Causa impactos negativos en los embalses y su crecimiento debe ser controlado de no poder ser eliminada la especie en su totalidad. A pesar de ser una especie que puede servir como materia prima para distintos fines productivos, no debe promoverse su distribución para evitar invasiones a fuentes de agua donde actualmente no existe. Al ya existir una invasión consolidada debe controlarse el crecimiento de la especie con diferentes mecanismos, y de optarse por su extracción mecánica es conveniente procesar el vegetal para la obtención de productos con valor agregado.
2. La superficie del embalse de la represa Daniel Palacios cubierta por jacinto de agua, permitiría una extracción permanente de 4,5 toneladas diarias de biomasa húmeda. Mencionada tasa de producción permite afirmar que el Jacinto de Agua del embalse de la represa Daniel Palacios, es una plaga de renovación diaria, que de no ser controlada llegaría a nivel de cobertura total del embalse.
3. El jacinto de agua cumple todas las características de una biomasa aprovechable con fines energéticos, específicamente térmicos. Es importante recalcar que este vegetal no se emplea como alimento humano por lo que no existen disyuntivas respecto a su empleo, ni afecta a la seguridad alimentaria.
4. El porcentaje de metano presente en biogás obtenido experimentalmente puede ser empleado con fines energéticos. El uso se limita a empleos térmicos como cocción, ya que para fines de generación eléctrica es pobre como combustible.
5. La fermentación anaerobia es una tecnología basada en procesos biológicos que permite transformar el Jacinto de Agua en compuestos mejoradores de suelos y en biogás.



6. Las condiciones ambientales del campamento Guarumales definió el proceso como psicrófilico al tener una temperatura anual promedio de 16 °C.
7. Los bioabonos tienen un contenido no representativo de elementos aprovechables por las plantas, mientras que su contenido de metales pesados no limita su empleo en el agro según estándares internacionales.
8. La producción de biogás de Jacinto de Agua en condiciones psicrófilicas se triplica con el empleo del inóculo con estiércol de cuy.
9. El rendimiento del proceso de fermentación anaerobia tiene un bajo rendimiento comparando sus resultados con los obtenidos en procesos mesofílicos o psicrófilicos según otras investigaciones. Sin embargo, el biogás generado tiene un contenido de metano de aproximadamente 25 % y posee propiedades combustibles 11 veces inferiores que el GLP pero aún aptas para la cocción de alimentos.
10. El reemplazo del GLP empleado en el comedor del campamento Guarumales por biogás resultado de la fermentación anaerobia del Jacinto de Agua es factible

5.2. Recomendaciones

1. Considerar la fermentación anaerobia del Jacinto de Agua como un método de empleo para el vegetal que permita controlar su fenómeno de invasión para aumentar la navegabilidad en el embalse, evitar la eutroficación y disminuir la evapotranspiración.
2. Optimizar el proceso de fermentación para incrementar la producción de biogás, así como la presencia de metano en el mismo.
3. Efectuar experimentos posteriores con otros tipos de inóculos presentes en el campamento Guarumales como lixiviados y aguas negras o con mezclas de biomásas adicionales al Jacinto de Agua como son residuos forestales resultantes de las tareas permanentes de desbroce.



4. Experimentar con tecnologías que permitan incrementar la temperatura del biodigestor, agitar la biomasa, deshidratar la biomasa u otros pre tratamientos que incrementen la generación de biogás o mejoren el contenido de elementos en los bioabonos resultantes.
5. Difundir la tecnología de la biodigestión anaerobia a las comunidades aledañas con la finalidad de reducir el empleo de combustibles fósiles y/o controlar los residuos orgánicos generados.
6. Experimentar la opción de que los residuos resultantes de la fermentación sean sometidos a un proceso de vermicompostaje para mejorar sus características fertilizantes.
7. Para una aplicación a gran escala debe evaluarse la posibilidad de inocular la biomasa con residuos de procesos de fermentaciones previas. Es decir dejar pie de cría en vez de inocular en cada lote.



Indice de Tablas

TABLA 1. TIPO Y REINO DE LAS 100 ESPECIES MÁS INVASIVAS DEL MUNDO.....	14
TABLA 2. REINO DE LAS 100 ESPECIES MÁS INVASIVAS DEL MUNDO	14
TABLA 3. ESPECIES INVASIVAS EN EL ECUADOR.	15
TABLA 4. ESPECIES ACUÁTICAS INVASIVAS DEL ECUADOR.....	16
TABLA 5. CLASIFICACIÓN CIENTÍFICA DEL LECHUGUÍN.....	17
TABLA 6. COMPOSICIÓN DEL JACINTO DE AGUA.....	20
TABLA 7. ESPECIES ACUÁTICAS INVASIVAS DEL ECUADOR.....	23
TABLA 8. EMPLEOS DEL JACINTO DE AGUA.	24
TABLA 9. PRINCIPALES BIOCOMBUSTIBLES OBTENIDOS DEL JACINTO DE AGUA	25
TABLA 10. EMPRESAS QUE CONFORMAN LA CELEC EP.	29
TABLA 11. PROYECTOS MANEJADOS POR LA UNIDAD DE NEGOCIO HIDROPAUTE.	31
TABLA 12. PERSONAL QUE LABORA EN LA UNIDAD DE NEGOCIO HIDROPAUTE	31
TABLA 13. CAMPAMENTOS DE LA UNIDAD DE NEGOCIO HIDROPAUTE	32
TABLA 14. CARACTERIZACIÓN EN MG/LT PRESENTES EN MUESTRAS DE JACINTO DE AGUA.....	35
TABLA 15. METALES PESADOS IDENTIFICADOS EN EL JACINTO DE AGUA.	35
TABLA 16. COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS REQUERIDOS PARA EL CRECIMIENTO Y REPRODUCCIÓN DEL JACINTO DE AGUA.	35
TABLA 17. TIPOS DE CONVERSIÓN DE BIOMASA EN ENERGÍA.	39
TABLA 18. RENDIMIENTO DE LOS DIFERENTES PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA.	40
TABLA 19. PRE TRATAMIENTOS FÍSICO QUÍMICOS PARA LA CONVERSIÓN DE BIOMASA.	40
TABLA 20. FUENTES COMUNES DE PRODUCCIÓN DE BIOMASA.....	42
TABLA 21. BACTERIAS QUE PARTICIPAN EN EL PROCESO DE BA DURANTE SUS CUATRO ETAPAS.....	49
TABLA 22. VOLUMEN DE BIOGÁS OBTENIDO EN LA DEGRADACIÓN DE DIFERENTES BIOMASAS.	50
TABLA 23. CARACTERIZACIÓN GENERAL DEL BIOGÁS.	51
TABLA 24. BIOPROCESOS PARA ESTABILIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA.	52
TABLA 25. CARACTERIZACIÓN DEL ABONO OBTENIDO POR DIFERENTES BIOPROCESOS.	52
TABLA 26. TIEMPO DE RETENCIÓN APTO PARA OPTIMIZAR LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS BIOFERTILIZANTES.	53
TABLA 27. CLASIFICACIÓN DE LOS DISTINTOS BIODIGESTORES.	55
TABLA 28. COMPONENTES DEL SISTEMA DE GAS DE UN BIODIGESTOR MODERNO.....	60
TABLA 29. CLASIFICACIÓN DE LOS SUSTRATOS PARA EL PROCESO DE BIODIGESTIÓN ANAEROBIA.	62
TABLA 30. PORCENTAJE DE BIOGÁS Y METANO GENERADO POR BIODIGESTIÓN ANAEROBIA DE CARBOHIDRATOS, LÍPIDOS Y PROTEÍNAS.	62
TABLA 31. SÓLIDOS TOTALES PROMEDIOS CONTENIDOS EN DIVERSOS RESIDUOS.....	65
TABLA 32. RANGOS DE TEMPERATURA EN LOS PROCESOS DE FERMENTACIÓN ANAEROBIA.....	65
TABLA 33. PRINCIPALES PROMOTORES DE LA BIODIGESTIÓN ANAEROBIA.	69
TABLA 34. CONCENTRACIÓN INHIBIDORA DE ALGUNOS ELEMENTOS.	70
TABLA 35. TIEMPO DE RETENCIÓN SEGÚN LA TEMPERATURA DE FERMENTACIÓN.	71
TABLA 36. DATOS PARA ESTIMACIÓN DEL VOLUMEN DEL REACTOR.	83
TABLA 37. RESULTADOS EXPERIMENTALES DE LA EBULLICIÓN DE AGUA CON BIOGÁS.....	88
TABLA 38. RESULTADOS EXPERIMENTALES DEL BIOGÁS OBTENIDO.....	89
TABLA 39. COMPARACIÓN DE PODER FERTILIZANTE DE LOS BIOABONOS FRENTE A LA GALLINAZA.	90
TABLA 40. ANÁLISIS ELEMENTAL DE LOS BIOABONOS DEL JACINTO DE AGUA	92



TABLA 41. LÍMITES DE METALES PESADOS PRESENTES EN LODOS PARA USO AGRÍCOLA EN MG/KG..... 92

Indice de Figuras

FIGURA 1. MUESTRAS DE UNA PLANTA DE JACINTO DE AGUA (LECHUGUÍN) EXTRAÍDA DEL EMBALSE DE LA REPRESA DANIEL PALACIOS.	17
FIGURA 2. MORFOLOGÍA DEL JACINTO DE AGUA. A: ROSETA DE PECIOLOS ATENUADA EN CONDICIONES DE CONFINAMIENTO; B: YEMA AXILAR EN EXPANSIÓN; C: RAMA EN DESARROLLO; D: ROSETA DE PECIOLOS BULBOSA EN CONDICIONES ABIERTAS. ABREVIATURAS: AR – RAÍZ ADVENTICIA; IN – INFLORESCENCIA; IS – ITSMO DE LA HOJA; LA – FILO DE LA HOJA; PL – HOJA PRIMARIA; PD – ESPIGA DEL PEDÚNCULO DE LA FLOR; PT – PECIOLO DE LA HOJA; SP – ESPATA; ST – ESTOLONES.	19
FIGURA 3. REPRODUCCIÓN DEL JACINTO DE AGUA.	26
FIGURA 4. LOCALIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO PAUTE EN EL ECUADOR.	28
FIGURA 5. POTENCIA EFECTIVA DEL ECUADOR (5.050,32 MW)	30
FIGURA 6. ENERGÍA GENERADA POR HIDROPAUTE EN LAS ÚLTIMAS DOS DÉCADAS.	30
FIGURA 7. PRODUCCIÓN DE ENERGÍA PRIMARIA A PARTIR DE BIOMASA SÓLIDA EN 2007 (TEP/HAB)	38
FIGURA 8. CICLO SOSTENIBLE DEL BIOGÁS.	44
FIGURA 9. MODELO USUAL DE CO DIGESTIÓN.	45
FIGURA 10. ESQUEMA DE REACCIONES DE LA BIODIGESTIÓN ANAEROBIA.	46
FIGURA 11. GASÓMETROS MÁS EMPLEADOS. 1: DIGESTOR CERRADO; 2: GASÓMETRO FLOTANTE; 3: CAMPANA FIJA; 4: BALÓN PLÁSTICO.	58
FIGURA 12. TASA DE CRECIMIENTO DE METANÓGENOS EN LOS DIFERENTES RANGOS DE TEMPERATURA, ..	66
FIGURA 13. PORCENTAJE ACUMULADO DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y METANO EN LOS DIFERENTES RANGOS DE TEMPERATURA.	67
FIGURA 14. COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS EN FUNCIÓN DEL PH EN UNA MEZCLA GUANO – TUNA.	68
FIGURA 15. PREPARACIÓN DE TANQUES REACTORES.	75
FIGURA 16. TANQUES PINTADOS SOBRE PALET DE TRANSPORTE.	76
FIGURA 17. MANÓMETRO EMPLEADO PARA LA MEDICIÓN DE LA PRESIÓN.	77
FIGURA 18. TERMOHIGRÓMETRO EMPLEADO PARA LA MEDICIÓN DE LA TEMPERATURA.	78
FIGURA 19. JACINTO DE AGUA TRITURADO.	79
FIGURA 20. PICADO DEL ESTIÉRCOL DE CUY.	80
FIGURA 21. COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA AMBIENTAL DURANTE LOS DÍAS DE FERMENTACIÓN.	85
FIGURA 22. GENERACIÓN DE BIOGÁS DE LOS DIFERENTES SUSTRATOS.	86
FIGURA 23. CARACTERÍSTICAS DE LA FLAMA OBTENIDA DE LA COMBUSTIÓN DEL BIOGÁS GENERADO.	87
FIGURA 24. SISTEMA PARA LA QUEMA DEL BIOGÁS.	88
FIGURA 25. MODELO DE GENERACIÓN DE BIOGÁS EN REACTOR DE FLUJO CONTINUO.	96
FIGURA 26. PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN REACTOR CONTINUO.	97



Indice de Ecuaciones

ECUACIÓN 1. DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN C:N DE UNA MEZCLA DE MATERIAS.....	63
ECUACIÓN 2. DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA NECESARIA PARA OPTIMIZAR LA CANTIDAD DE SÓLIDOS TOTALES.....	64
ECUACIÓN 3. CÁLCULO DEL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO.	71
ECUACIÓN 4. DETERMINACIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA AL REACTOR.....	72
ECUACIÓN 5. ECUACIÓN DE LOS GASES IDEALES.	78
ECUACIÓN 6. PENDIENTE DE UNA RECTA.	84
ECUACIÓN 7. AUMENTO DEL VOLUMEN DEL GASÓMETRO TANQUE A.....	84
ECUACIÓN 8. AUMENTO DEL VOLUMEN DEL GASÓMETRO TANQUE DE CONTROL.	84
ECUACIÓN 9. TASA DE CONSUMO DE BIOGÁS.....	89
ECUACIÓN 10. PRODUCCIÓN TOTAL DE BIOGÁS EN UN PERIODO	96



Glosario de Términos

Archea	Grupo de microorganismos unicelulares que carecen de núcleo celular u otro orgánulo dentro de las células.
Basal	En filogenia los miembros basales de un linaje son aquéllos que se separaron más tempranamente que otros miembros del mismo grupo
Bocashi	Fertilizante obtenido de la fermentación de materia orgánica con microorganismos efectivos
Coquí	Rana nativa de puerto rico
Ctenofozo	Especie de medusa marina
Dragado	Acción de movilización de sedimentos de un río o lago
Edáfico	Relativo al suelo
Fungi	Reino al reino que agrupa a los hongos, mohos y levaduras.
Gallinaza	Abono compuesto principalmente de estiércol de gallina
Glabros	Liso, brillantes sin pelos
Húmico	Relativo al humus
Lignina	Polímero presente en las paredes celulares vegetales que le proporciona propiedades mecánicas a las células
Mimosa	Planta sensible al tacto
Monera	Reino de los seres vivos microscópicos
Oomycete	Grupo de protistas filamentosos superficialmente parecidos a los hongos.
Pirólisis	Descomposición química de la materia orgánica causada por calentamiento en ausencia de oxígeno.
Sésiles	Plantas carentes de un órgano que le sirva de pie o soporte.

Glosario de Siglas

USD	Dólares Americanos
GLP	Gas licuado de Petróleo
JA	Jacinto de Agua
BA	Biodigestión anaerobia
ppm	Partes por millón

Anexos

Anexo 1. Listado de las 100 especies más invasivas del mundo

ESPECIE	TIPO	NOMBRE COMÚN
<i>Acacia mearnsii</i>	Arbusto	Acacia negra o australiana
<i>Achatina fulica</i>	Molusco	Caracol gigante africano
<i>Acridotheres tristis</i>	Ave	Miná común
<i>Aedes albopictus</i>	Insecto	Mosquito tigre
<i>Anopheles quadrimaculatus</i>	Insecto	Mosquito de la malaria
<i>Anoplolepis gracilipes</i>	Insecto	Hormiga loca, hormiga zancona
<i>Anoplophora glabripennis</i>	Insecto	Escarabajo asiático de antenas largas
<i>Aphanomyces astaci</i>	Hongo	Afanomicosis
<i>Ardisia elliptica</i>	Árbol	Shoebuttón ardisia
<i>Arundo donax</i>	Hierba	Caña común, caña brava
<i>Asterias amurensis</i>	Estrella de mar	Estrella de mar japonesa
<i>Batrachochytrium dendrobatidis</i>	Hongo	Quitridiomicosis cutánea
<i>Bemisia tabaci</i>	Insecto	Mosca blanca del tabaco
<i>Boiga irregularis</i>	Reptil	Culebra arbórea café
<i>Bufo marinus</i> = <i>Rhinella marina</i>	Anfibio	Sapo de caña, sapo neotropical gigante, sapo marino
<i>Capra hircus</i>	Mamífero	Cabra
<i>Carcinus maenas</i>	Crustáceo	Cangrejo de mar común
<i>Caulerpa taxifolia</i>	Alga	Caulerpa
<i>Cecropia peltata</i>	Árbol	Yarumo, yagrumo, arroyuela
<i>Cercopagis pengoi</i>	Crustáceo	Pulga espinosa de anzuelo
<i>Cervus elaphus</i>	Mamífero	Ciervo común, ciervo rojo, venado



ESPECIE	TIPO	NOMBRE COMÚN
<i>Chromolaena odorata</i>	Hierba	
<i>Cinara cupressi</i>	Insecto	Áfido del ciprés
<i>Cinchona pubescens</i>	Árbol	Quino, kina, quinina roja, cascarilla
<i>Clarias batrachus</i>	Pez	Pez gato andador
<i>Clidemia hirta</i>	Arbusto	Clidemia
<i>Coptotermes formosanus</i>	Insecto	Termita subterránea de Formosa
<i>Corbula amurensis = Potamocorbula amurensis</i>	Molusco	Almeja asiática, almeja china
<i>Cryphonectria parasitica</i>	Hongo	Chancro del castaño
<i>Cyprinus carpio</i>	Pez	Carpa común, carpa europea
<i>Dreissena polymorpha</i>	Molusco	Mejillón cebra
<i>Eichhornia crassipes</i>	Planta acuática	Jacinto de agua común, camalote
<i>Eleutherodactylus coqui</i>	Anfibio	Coquí común
<i>Eriocheir sinensis</i>	Crustáceo	Cangrejo de Shanghai
<i>Euglandina rosea</i>	Molusco	Caracol lobo
<i>Euphorbia esula</i>	Hierba	Lechetrezna frondosa
<i>Fallopia japonica = Polygonum cuspidatum</i>	Arbusto	Falopia japonesa
<i>Felis catus</i>	Mamífero	Gato, gato doméstico
<i>Gambusia affinis</i>	Pez	Pez mosquito
<i>Hedychium gardnerianum</i>	Hierba	Jengibre hawaiano, kahili
<i>Herpestes javanicus</i>	Mamífero	Mangosta javanesa
<i>Hiptage benghalensis</i>	Arbusto	Hiptage
<i>Imperata cylindrica</i>	Hierba	Carrizo marciego
<i>Lantana camara</i>	Arbusto	Camará, lantana, bandera española, frutillo
<i>Lates niloticus</i>	Pez	Perca del Nilo
<i>Leucaena leucocephala</i>	Árbol	Peladera, liliaque, huaje, guaje, acacia pálida
<i>Ligustrum robustum</i>	Arbusto	Ligustro
<i>Linepithema humile</i>	Insecto	Hormiga argentina



ESPECIE	TIPO	NOMBRE COMÚN
<i>Lithobates catesbeianus</i> = <i>Rana catesbeiana</i>	Anfibio	Rana toro
<i>Lymantria dispar</i>	Insecto	Lagarta peluda
<i>Lythrum salicaria</i>	Hierba	Arroyuella, salicaria púrpura
<i>Macaca fascicularis</i>	Mamífero	Macaco cangrejero
<i>Melaleuca quinquenervia</i>	Árbol	Cayeputi australiano
<i>Miconia calvescens</i>	Árbol	Miconia
<i>Micropterus salmoides</i>	Pez	Lubina negra, haro, perca americana, lobina negra, robalo
<i>Mikania micrantha</i>	Enredadera	Guaco
<i>Mimosa pigra</i>	Arbusto	Carpinchera (mimosa)
<i>Mnemiopsis leidyi</i>	Ctenóforo	Ctenóforo americano
<i>Mus musculus</i>	Mamífero	Ratón común
<i>Mustela erminea</i>	Mamífero	Armiño
<i>Myocastor coypus</i>	Mamífero	Coipo, coipú
<i>Myrica faya</i>	Arbusto	Faya
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	Molusco	Clóchina, mejillón mediterráneo, mejillón rubio
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Pez	Trucha arcoíris
<i>Ophiostoma ulmi</i>	Hongo	Grafiosis del olmo
<i>Opuntia stricta</i>	Arbusto	Nopal tunero costero, chumbera
<i>Oreochromis mossambicus</i>	Pez	Tilapia del Mozambique
<i>Oryctolagus cuniculus</i>	Mamífero	Conejo común, conejo europeo
<i>Pheidole megacephala</i>	Insecto	Hormiga leona
<i>Phytophthora cinnamomi</i>	Oomycete	Podredumbre de raíz
<i>Pinus pinaster</i>	Árbol	Pino rodeno, pino marítimo, pino rubial, pino resinero
<i>Plasmodium relictum</i>	Microorganismo	Malaria aviar
<i>Platydemus manokwari</i>	Gusano plano	
<i>Pomacea canaliculata</i>	Molusco	Caracol manzana dorado
<i>Prosopis glandulosa</i>	Árbol	Mesquite dulce, mezquite



ESPECIE	TIPO	NOMBRE COMÚN
<i>Psidium cattleianum</i>	Arbusto	Guayabo peruano, guayabo fresero
<i>Pueraria montana</i> var. <i>lobata</i>	Enredadera	Kudzu
<i>Pycnonotus cafer</i>	Ave	Bulbul cafre
<i>Rattus rattus</i>	Mamífero	Rata negra, rata de barco, rata del tejado, rata común, pericote
<i>Rinderpest virus</i> ⁴	Microorganismo	Peste bovina
<i>Rubus ellipticus</i>	Arbusto	
<i>Salmo trutta</i>	Pez	Trucha común, trucha marrón, reo
<i>Schinus terebinthifolius</i>	Árbol	Pimentero brasileño, turbinto, aroeira, árbol de la pimienta
<i>Sciurus carolinensis</i>	Mamífero	Ardilla de las Carolinas, ardilla gris de las Carolinas, ardilla gris oriental, ardilla del este
<i>Solenopsis invicta</i>	Insecto	Hormiga roja de fuego
<i>Spartina anglica</i>	Hierba	Espartina
<i>Spathodea campanulata</i>	Árbol	Tulipanero africano
<i>Sphagneticola trilobata</i>	Hierba	Wedelia
<i>Sturnus vulgaris</i>	Ave	Estornino pinto
<i>Sus scrofa</i>	Mamífero	Jabalí
<i>Tamarix pentandra</i> = <i>Tamarix ramosissima</i>	Arbusto	Tamarindo rosa, tamarisco, taray catina
<i>Trachemys scripta elegans</i>	Reptil	Gigotea elegante, galápago de Florida, tortuga de orejas rojas
<i>Trichosurus vulpecula</i>	Mamífero	Pósum cola de cepillo
<i>Trogoderma granarium</i>	Insecto	Escarabajo de khapra
<i>Ulex europaeus</i>	Arbusto	Retamo espinoso, espinillo, tojo
<i>Undaria pinnatifida</i>	Alga	Wakame
<i>Vespula vulgaris</i>	Insecto	Avispa común
Virus del cogollo racimoso del banano (BBTV, del inglés « <i>Banana bunchy top virus</i> »)	Microorganismo	



ESPECIE	TIPO	NOMBRE COMÚN
<i>Vulpes vulpes</i>	Mamífero	Zorro común, zorro rojo
<i>Wasmannia auropunctata</i>	Insecto	Pequeña hormiga de fuego



Bibliografía

(n.d.).

Abdel-sabour, M. (2010). WATER HYACINTH: AVAILABLE AND RENEWABLE RESOURCE. *Electronic Journal Of Enviromental, Agricultural And Food Chemistry*.

Al Seadi, T., Rutz, D., Heinz, P., Michael, K., Finsterwalder, T., Volk, S., et al. (2008). *BIOGAS HANDBOOK*. e.

Almoustapha, O., Kenfack, S., & Millogo-Rasolodimby, J. (2008). BIOGAS PRODUCTION USING WATER HYACINTHS TO MEET COLLECTIVE ENERGY NEEDS IN A SAHELIAN COUNTRY. *Field Actions Science Reports*.

Alvarado Carrión, P. R. (2013). *FACTIBILIDAD DEL USO DE LECHUGUÍN DEL EMBALSE MAZAR PARA LA OBTENCIÓN DE COMPOST*. Cuenca.

bentec. (2008). Retrieved 06 05, 2012, from http://www.bentec.es/eng/introduccion_eng.htm

Bhattacharya, A., & Kumar, P. (2010). WATER HYACINTH AS A POTENTIAL BIOFUEL CROP. *Electronic Journal of Enviromental, Agricultural and Food Chemistry*, 112-122.

Bravo Salinas, W. J., & Cosquillo Arias, R. F. (2011). *CALCULO, DISEÑO Y CONTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR*. Milagro, Ecuador: Universal Estatal de Milagro.

Campos Yerno, D. (2011). *PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO A PARTIR DE BIOGÁS MEDIANTE REFORMADO SECO DEL METANO Y STEAM-IRON. INFLUENCIA DE LAS COMPOSICIÓN DEL SÓLIDO Y LAS VARIABLES DE OPERACIÓN*. Zaragoza, España: Universidad de Zaragoza.

Cerón, C., Palacios, W., Sierra, R., & Valencia, R. (1999). *Propuesta Preliminar De Un Sistema De Clasificación De Vegetación Para El Ecuador Continental*. Ecuador.

Chetta S. Owens and J. D. Madsen. (1995). Low Temperature Limits Of Wather Hyacinth. *J. Aquat. Plant Manage.* 33, 63-68.



- Chum Kuffo, A., Jácome, G., & Landívar, N. (2006). *La Lucha Por El Agua De Las Comunidades Ribereñas De La Cuenca Del Río Guayas*. FIAN.
- Chungandro Nacaza, K. R., & Manito Cahuatijo, G. J. (2010, 02). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BIODIGESTOR PARA PEQUEÑAS Y MEDIANAS GRANJAS. Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Compras Públicas*. (s/f). Retrieved 06 25, 2012, from <https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/PC/buscarProceso.cpe?sg=1#>
- CONELEC. (2009). *Estadísticas Del Sector Eléctrico Ecuatoriano*.
- Corace, J., Aeberhard, M., Martina, P., Ventín, A., & García Solá, E. (2006). COMPARACIÓN DEL TIMEPO DE REACCIÓN EN EL PROCESO DE BIODIGESTIÓN SEGÚN EL TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS DE ASERRÍN UTILIZADO COMO MATERIA ORGÁNICA. Argentina: Universidad Nacional del Nordeste.
- Crespo Astudillo, D. M. (2010). *COMPARACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA DESCOMPOSICIÓN ANAEROBIA DE MATERIA ORGÁNICA*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- De Souza Silva, R. (2008, Enero). *INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E DE CARGAS DE NUTRIENTES NO CRESCIMIENTO DA MACROFITA AQUÁTICA FLUTUANTE Eicchornia Crassipes (MART.) SOLMS CULTIVADA EM ÁGUA ENRIQUECIDA ARTIFICIALMENTE*. Rio Claro: Instituto de Biociencias Univeersidad Paulista Julio de Mesquita Filho.
- Dirar, H., & El Amin, H. (1987). MHETANE FERMENTATION OF WATER HYACINTH: EFFECT OS SOLIDS CONCENTRATION AND INOCULUM SOURCE. *Mircen Journal*, 299-312.
- El Amin, H., & Dirar, H. (1987). METHANE FERMENTATION OF WATER HYACINTH: EFFECT OF RETENTION TIME AND TEMPERATURE. *MIRCEN journal*, 313.326.
- European And Mediterranean Plant Protection Organization. (2008). *Data Sheet On Quarantine Pests*.
- Eyo, A. (s/f). REVIEW AND POSIBILITIES OF WATER HYACINTH (Eicchornia Crassipes) UTILIZATION FOR BIOGAS PRODUCTION BY RURAL



COMMUNITIES IN KAINJI LAKE BASIN. New Bussa, Nigeria: National Institute For Frehwater Fisheries Research.

Fernández Villagómez, G., Vázquez Borges, E., & Martinez Pereda, P. (2002). INHIBIDORES DEL PROCESO ANAEROBIO: COMPUESTOS UTILIZADOS EN LA PORCICULTURA. México D.F., México: Revista Académica de Ingeniería.

Granja Jimenez, R., & Holtzaple, M. (2012, 05). INVESTIGACIÓN DE OPCIONES DE PRETRATAMIENTO PARA MEJORAR LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS DEL JACINTO DE AGUA Y SU USO CON FINES ENERGÉTICOS. Guayaquil, Ecuador: Comisión de Integración Energética Regional.

Gutiérrez Castro, L. (2011, 06). DISEÑO DE UN SISTEMA SOLAR PARA SUMINISTRAR ENERGÍA A UN DIGESTOR. México D.F., México: Instituto Politécnico Nacional.

Hashimoto, A., Keros, P., Ostahowski, D., Raubinger, M., & Ying, Y. (2009, 04). IMPROVISING SUSTAINABLE ENERGY IN MEXICO: BIODIGESTER MIXING SYSTEM. México: Sustainable Water and Energy Systems.

HidroPaute. (2012). Retrieved 06 20, 2012, from <http://www.celec.com.ec/hidropaute/index.php/es/estadisticas>

Hidropaute. (n/d). Retrieved 06 19, 2012, from <http://www.celec.com.ec/hidropaute/index.php/es/hidrología>

HidroPaute. (n/d). Retrieved 06 20, 2012, from <http://hpaforms.celec.com.ec/hidropaute/graficaproduccion/default.aspx>

Hidropaute. (s/f). Retrieved 06 25, 2012, from <http://www.celec.com.ec/hidropaute/index.php/es/informacion-tecnica-mazar/embalsemolino>

Hilbert, J. (s/f). MANUAL PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.

Horácio Da Silva, J. V., Pessoa Borges, A. K., Benavides de Moraes, P., & Pessoa Picanco, A. (2010). COMPOSTAGEM DAS MACRÓFITAS AQUÁTICAS: *Salvinia Auriculata* E *Eichhornia Crassipes*. Brasil: Universidad Federal de Tocantis.



- Hronich, J., Lealon, M., Plawsky, J., & Bungay, H. (2008). POTENTIAL OF EICHHORNIA CRASSIPES FOR BIOMASS REFINING. Springer.
- Hronich, J., Martin, L., Plawsky, J., & Bungay, H. (2008, Enero). POTENTIAL OF EICHHORNIA CRASSIPES FOR BIOMASS REFINING. *Society for industrial Microbiology*, 393-402.
- Invasive Species Specialist Group*. (2008). Retrieved 06 08, 2012, from <http://www.issg.org/database/species/search.asp?sts=sss&st=sss&fr=1&sn=&rn=Ecuador&hci=-1&ei=-1&lang=EN>
- Jian Jun, C., Yi, D., & Qi Jia, Z. (2006). INVASION AND CONTROL OF WATER HYACINTH (*Eichhornia Crassipes*) IN CHINA. China: Journal Of Zhejiang University SCIENCE B.
- Kessler, E. (2008). OUR FOOD AND FUEL FUTURE. In V. AUTORES, & D. PIMENTEL (Ed.), *BIOFUELS, SOLAR AND WIND AS RENEWABLE ENERGY SYSTEMS* (pp. 259-294). ITHACA, EEUU: SPRINGER.
- Kivaisi, A., & Mtila, M. (1998). PRODUCTION OF BIOGAS FROM WATER HYACINTH (*Eichhornia Crassipes*) (Mart) (Solms) IN A TWO STAGE BIOREACTOR. Tanzania: World Journal Of Microbiology And Biotechnology.
- León Espinoza, M. E., & Lucero Peralta, A. M. (2008). Estudio *Eichhornia Crassipes*, *Azolla Filiculoides* y *Lemna Gibba*, En El Tratamiento De Aguas Residuales Domésticas Aplicando A Sistemas Unifamiliares Y Comunitarios En El Cantón Cotacachi - Ecuador.
- Lobera Losell, J. B. (2011). HISTORIA DEL BIOGAS.
- López, D. (2012). "APROVECHAMIENTO DEL LECHUGUÍN ("*EICHHORNIA CRASSIPES*") PARA LA GENERACIÓN DE ABONO ORGÁNICO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE TRES DISEÑOS DIFERENTES DE BIODIGESTORES". Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Ly, J., Samkol, P., & Preston, T. (2002). NUTRITIONAL EVALUATION OF AQUATIC PLANTS FOR PIGS: PEPSIN/PANCREATIN DIGESTIBILITY OF SIX PLANT SPECIES. Cambodia: Livestock Research for Rural Development.
- Maioli, A., Pulfer, J., & Mitjans, F. (2011, Octubre). GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD EN HORAS PICO A PARTIR DE LA DIGESTIÓN



ANAEROBIA DE CAMALOTE. *Revista Ingeniería e Investigación*, 31, 66-70.

Martí Herrero, J. (2008). *BIODIGESTORES FAMILIARES GUÍA DE DISEÑO Y MANUAL DE INSTALACIÓN*. La Paz, Bolivia: Corporación Técnica Alemana.

Martínez Jiménez, M. (2004). *Progresos En El Manejo Del Jacinto De Agua (Eichhornia Crassipes)*. Roma.

(n/d). Retrieved 06 20, 2012, from <http://www.celec.com.ec/hidropaute/index.php/es/preguntas-frecuentes>

Ofoefule, A., Uzodinma, E., & Onukwuli, O. (2009, Septiembre). COMPARATIVE STUDY OF THE EFFECT OF DIFERENT PRETREATMENT METHODS ON BIOGAS YIELD FROM WATER HYACINTH (EICHHORNIA CRASSIPES). *International Journal of Physical Sciences*, 535-539 .

Ojeifo, M., Ekokotu, P., Olele, N., & Ekelemu, J. (s/f). A REVIEW OF THE UTILISATION OF WATER HYACINTH: ALTERNATIVE AND SUSTAINABLE CONTROL MEASURES FOR A NOXIUS WEED. Asaba: Department of Agronomy, Forestry and Wildlife, Delta State University, Asaba Campus, Asaba.

Olvera Viascan, V. (1988). *Biología Y Ecología Del Lirio Acuático. Control Y Aprovechamiento Del Lirio Acuático*.

Reina Hernández, J., Romero Cardona, X., & Grau Pérez, I. (2009, 03). ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE RESIDUOS DE MERCADO USANDO COMO INOCUO EL LIXIVIADO GENERADO EN UN VERTEDERO.

Rivas Solano, O., Faith Vargas, M., & Guillén Watson, R. (2010, 04). BIODIGESTORES: FACTORES QUÍMICOS, FÍSICOS Y BIOLÓGICOS RELACIONADOS CON SU PRODUCTIVIDAD. 39-46. Costa Rica.

Rodríguez, J., El Atrach, K., Rumbos, E., & Delepiani, A. (1995). RESULTADOS EXPERIMENTALES SOBRE LA PRODUCCIÓN DE BIOGAS.

Sánchez Macías, J. I., Rodríguez López, F., & Días Rincón, J. (s/f). *EXPECTATIVAS DEL SECTOR DE LA BIOENERGÍA EN CASTILLA Y LEÓN*. España.



- Torres Abad, S. M. (2009). *Estudio de Aprovechamiento Del Lechuguín Eichhornia Crassipes, Del Embalse De La Represa Daniel Palacios Como Bioabsorbente De Metales Pesados En El Tratamiento De Aguas Residuales*. Cuenca.
- Torres Deluigi, M., & Follari, J. (s/f). UN BIODIGESTOR DE BOÑIGAS DE CABRA CALEFACCIONADO CON COLECTORES PLANOS. San Luis, Argentina: Laboratorio de Energía Solar.
- Unión Internacional Para La Conservación De La Naturaleza. (2008, 03 07). Retrieved from http://www.iucn.org/es/sobre/union/secretaria/oficinas/sudamerica/sur_trabajo/sur_especies/sur_invasoras/
- Varnero Moreno, M. T. (2011). *MANUAL DEL BIOGÁS*. Santiago, Chile.
- Vera Delgado, J. M. (2009). Monitoreo y Control Ecológico De Lechuguines (Eichhornia Crassipes) En El Embalse "La Esperanza", En La Cuenca Del río Chone De La Provincia De Manabí, Ecuador. *SENAGUA*.
- Wikipedia. (2012, 04 28). Retrieved 06 19, 2012, from http://es.wikipedia.org/wiki/Represa_de_Paute
- Wikipedia. (2012, 05 26). Retrieved from http://es.wikipedia.org/wiki/Especie_invasora
- Wikipedia. (2012, 03 20). Retrieved 06 27, 2012, from <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Biomasa&action=history>
- Wikipedia. (2012, 06 01). Retrieved 06 27, 2012, from <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Gasificaci%C3%B3n&action=history>
- Wikipedia. (2012, 06 07). Retrieved 06 27, 2012, from <http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Bioenerg%C3%ADa&action=history>