

**OBTENCIÓN DE ABONO ORGÁNICO LÍQUIDO A PARTIR DE LA DIGESTIÓN  
ANAERÓBICA DE LA PLANTA ACUÁTICA INVASORA "*Eichhornia crassipes*"  
(TARUYA) A TRAVÉS DE UN BIODIGESTOR**

**MARIA KARINA SUAREZ MARENCO  
LAURA VANESSA QUIROGA QUIROZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniera Ambiental**

**Director  
Claudia Herrera Herrera**

**Codirector  
Daniel Alcázar Franco**

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA – CUC  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
INGENIERÍA AMBIENTAL  
BARRANQUILLA – ATLÁNTICO  
SEPTIEMBRE, 2016**

## DEDICATORIA

A Dios, por estar presente cada día de mi vida, ser mi guía y fortaleza

A mis padres, Manuel y Francia por su amor y apoyo incondicional en todos los momentos de mi vida. Les estoy profundamente agradecidos por haberme dado la vida y darme la oportunidad de realizarme como persona y profesional

A mi hermana, Jesica por su cariño, motivaciones y por estar siempre para escucharme y aconsejarme

A mi mejor amigo Hector, por su cariño, comprensión, dedicación y apoyo en mi vida y durante todo el proceso de mi carrera profesional

Maria Karina Suarez Marengo

## **DEDICATORIA**

A Dios por ser la fuente de mi energía y superación personal

Con todo mi cariño y respeto para aquellos que con su amor me motivaron día a día a seguir esta investigación y así cumplir esta meta. Mis padres y toda mi familia

Laura Vanessa Quiroga Quiroz

## AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a los profesores:

Daniel Alcázar, por motivarnos a hacer parte del grupo de semilleros de investigación de la Universidad, en el cual tuvimos la gran experiencia de conocer lo enriquecedor y maravilloso que llega hacer la investigación cuando la haces parte de tu vida personal y profesional, además de su apoyo para la culminación de este proyecto.

Claudia Herrera, por su apoyo incondicional quien con sus conocimientos nos orientó, aconsejo y estímulo constantemente durante todo el proceso de este proyecto para que pudiéramos culminar este trabajo de grado.

## TABLA DE CONTENIDO

Resumen.....	- 10 -
1. Introducción.....	- 1 -
2. Planteamiento del problema .....	- 3 -
3. Objetivos.....	- 5 -
3.1. Objetivo general.....	- 5 -
3.2. Objetivos específicos .....	- 5 -
4. Marco teórico y estado del arte .....	- 6 -
4.1. Estado del arte.....	- 6 -
4.2. Marco teórico .....	- 9 -
4.2.1. <i>Eichhornia crassipes</i> (taruya) .....	- 9 -
4.2.2. Fenómeno de las invasiones de las plantas acuáticas.....	- 16 -
4.2.3. Impactos negativos de las invasiones de la taruya.....	- 22 -
4.2.4. Métodos de control de la taruya .....	- 23 -
4.2.5. Abono orgánico.....	- 26 -
4.2.6. Digestión anaeróbica .....	- 30 -
4.2.7. Biodigestor .....	- 45 -
5. Diseño metodológico.....	- 58 -
5.1. Tipo de investigación.....	- 58 -
5.2. Población de estudio y muestra.....	- 59 -
5.2.1. Municipio sabanagrande .....	- 59 -
5.2.2. Ciénaga de sabanagrande.....	- 61 -
5.2.3. Tipo de muestreo.....	- 64 -
5.2.4. Desarrollo experimental .....	- 65 -
6. Resultados y análisis.....	- 74 -
7. Conclusiones.....	- 83 -
8. Recomendaciones .....	- 84 -
Referencias.....	- 86 -
Anexos .....	- 89 -

**Lista de tablas**

Tabla 1. Clasificación científica de la <i>Eichhornia crassipes</i> (taruya).....	10
Tabla 2. Principales reacciones metanogénicas.....	36

### Lista de figuras

Figura 1. <i>Eichhornia crassipes</i> (Taruya).....	9
Figura 2. Morfología de la Taruya.....	11
Figura 3. Detalle de hojas y bulbo esponjoso, el cual facilita su flotación.....	13
Figura 4. Raíces con apariencia de plumas.....	14
Figura 5. Planta madre e hijo conectados por estolón .....	15
Figura 6. Esquema biodigestor de domo flotante .....	46
Figura 7. Esquema biodigestor horizontal.....	47
Figura 8. Esquema biodigestor de flujo discontinuo.....	49
Figura 9. Esquema biodigestor de flujo continuo.....	51
Figura 10. Esquema biodigestor de contacto anaeróbico.....	52
Figura 11. Esquema biodigestor UASB.....	53
Figura 12. Esquema de los RALF según el tipo de flujo.....	54
Figura 13. Biodigestor.....	56
Figura 14. Cámara de descarga .....	57
Figura 15. Reservorio del Biogás.....	57
Figura 16. Ubicación geográfica del municipio de Sabanagrande – Colombia.....	60
Figura 17. Ubicación geográfica del municipio de Sabanagrande – Atlántico.....	60
Figura 18. Límites municipio de Sabanagrande.....	61
Figura 19. Perforación.....	66

Figura 20. Válvulas.....	67
Figura 21. Tanque de almacenamiento del Biogás.....	67
Figura 22. Biodigestor.....	68
Figura 23. Preparación.....	70
Figura 24. Muestras de taruya triturada.....	70
Figura 25. Llenado.....	71

### Lista de gráficas

Gráfica 1. Resultados del pH.....	74
Gráfica 2. Resultados de la Temperatura.....	75
Gráfica 3. Norma vs. Resultados.....	76
Gráfica 4. Género.....	77
Gráfica 5. Nivel académico.....	78
Gráfica 6. Interés en temas de medio ambiente y conservación de recursos naturales.....	78
Gráfica 7. Ocupación actual.....	79
Gráfica 8. Actividad económica.....	79
Gráfica 9. Rango de ingreso mensual .....	80
Gráfica 10. ¿Conoce usted la planta "Eichhornia crassipes" Taruya, Bora, Buchón, Jacinto de Agua?.....	80
Gráfica 11. ¿De qué forma se ha visto afectado por la propagación de la Eichhornia crassipes Taruya, Bora, Buchón, Jacinto de Agua en los cuerpos de agua en la realización de sus actividades cotidianas?.....	81
Gráfica 12. ¿Qué métodos de erradicación conoce para minimizar esta problemática?.....	82
Gráfica 13. ¿Le gustaría que se implementara una solución definitiva para este problemática?...	82

## RESUMEN

El presente proyecto consistió en la obtención de abono orgánico líquido a partir de la "*Eichhornia crassipes*" conocida con el nombre común de Taruya, la cual es una planta acuática invasora y es considerada una de las 100 especies más dañinas del mundo según la comisión para la cooperación ambiental (2008), debido a que por sus mecanismos de reproducción se propaga rápidamente por los cuerpos de agua, lo cual trae como consecuencias afectaciones a nivel social, económico y ambiental.

La población de estudio del proyecto fue el municipio de Sabanagrande debido a las afectaciones que ha estado ocasionando la taruya en la ciénaga del mismo nombre.

Para la producción del abono orgánico se utilizó un biodigestor tipo Batch el cual consiste en un tanque hermético donde se llevó a cabo el proceso de digestión anaeróbica de la taruya. El desarrollo experimental consistió en la recolección de muestras de Taruya de la ciénaga de Sabanagrande, posteriormente se procedió a la preparación de las muestras para cargar el biodigestor y ponerlo en operación. Se elaboró un plan de seguimiento para el control de los parámetros de operación del biodigestor principalmente del pH, temperatura y tiempo de retención. Por otra parte se realizaron encuestas a la población cercanas a la ciénaga de Sabanagrande con el fin de obtener información de las afectaciones de la Taruya.

El proceso de obtención de abono orgánico líquido duro aproximadamente dos meses, los resultados obtenidos fueron comparados con la NTC 5167 de 2011 para productos de la industria agrícola, obteniendo así que el abono podría ser aplicado en los suelos.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los abonos orgánicos son aquellos que se obtienen a través de la biodegradación de los residuos de origen animal o vegetal. El contenido de nutrientes de los abonos orgánicos está en función de las concentraciones de los residuos a utilizar (Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación de México, 2012).

Los abonos orgánicos principalmente actúan en el suelo sobre tres propiedades: las físicas, mejorando la estructura, textura y permeabilidad del suelo; las químicas, aumentando la capacidad amortiguadora por consiguiente reduciendo las oscilaciones de pH, y aumentando la capacidad de intercambio catiónico, con lo que mejora la fertilidad del suelo y finalmente sobre las propiedades microbiológicas, que al producir sustancias inhibidoras y activadoras de crecimiento incrementan considerablemente el desarrollo de microorganismos benéficos, tanto para la degradación de la materia orgánica del suelo como para favorecer el desarrollo de los cultivos (Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación de México, 2012).

Una de las tecnologías empleadas para la obtención de abonos orgánicos es la implementación de biodigestores, el cual consiste en un tanque hermético e impermeable en el cual se deposita los residuos a biodegradar en determinada dilución de agua para que a través del proceso de biodigestión anaeróbica se produzca el abono orgánico rico en nutrientes, para su posterior aplicación a los suelos (Acosta y Obaya, 2005).

En la ciénaga de Sabanagrande, ubicada en el municipio del mismo nombre del departamento del Atlántico (Colombia), se ha venido dando el fenómeno de invasión biológica por parte la *Eichhornia crassipes* (Taruya) una planta acuática invasora flotante de raíces sumergidas con hojas que tiene una superficie esponjosa notablemente inflada en forma de globo, y la cual es considerada como una de las especies más dañinas del mundo debido a su rápida propagación por los cuerpos de agua y cuya presencia tiende a la afectación social, económica y ambiental.

Esta planta causa impactos negativos tales como el incremento de la pérdida de agua debido a la evapotranspiración, propagación extensiva en las superficies de presas, lagunas y canales impidiendo el transcurso del agua o de la navegación, afectación de la supervivencia de las plantas y animales nativos, reducción de la cantidad de luz y oxígeno en los ecosistemas acuáticos alterando el fitoplancton, las comunidades de invertebrados y a los peces, entre otros (Lowe et al., 2004).

Por consiguiente el presente proyecto hace énfasis en la construcción de un biodigestor para llevar a cabo el proceso de digestión anaeróbica de la *Eichhornia crassipes* (taruya) para la obtención de abono orgánico líquido, además de la determinación de la calidad del abono con respecto a la norma técnica colombiana NTC 5167 de 2011 para su posible aplicación al suelo.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel mundial, nacional y regional la "*Eichhornia crassipes*", conocida comúnmente con el nombre de Aguapè o baronesa (Brasil), Buchón o Taruya (Colombia), Bora (Venezuela), Lechugin (Ecuador), Violeta de agua (Chile), Lechuguilla, Camalote, Jacinto de agua o Lirio acuático (España), Lila de agua (República Dominicana) entre otros nombres, es considerada una de las 100 especies exóticas invasoras más dañinas del mundo según la comisión para la cooperación ambiental (2008).

Esta planta acuática causa grandes problemas a nivel económico, ambiental y social, debido a su alta tasa de crecimiento y habilidad competitiva con relación a otras plantas acuáticas flotantes. La propagación de esta planta es causada por el viento y las corrientes de agua, además se propaga con mucha facilidad por la intervención humana debido a la comercialización de sus flores atractivas utilizadas como adornos (Mendoza y Koleff, 2014). Aunque existen diferentes medidas de mitigación para esta problemática no se ha podido encontrar una solución definitiva.

En los cuerpos de aguas esta planta ha generado impactos negativos a nivel económico y social, tal es el caso de la ciénaga de Sabanagrande ubicada en el municipio del mismo nombre, donde la población ha sido afectada debido a la rápida propagación de esta planta en el cuerpo de agua generando dificultades en el comercio de peces causando repercusión económica en sus familias ya que no tienen forma de conseguir sustento

económico, puesto que la actividad económica de la pesca es la principal fuente de ingresos de esta población.

Por otra parte esta planta tiende a la extracción de los nutrientes de los cuerpos de agua tales como el carbono, nitrógeno, fósforo, potasio y otros elementos como el calcio, magnesio, azufre, hierro, cadmio, manganeso, plomo, cromo, cobre, molibdeno y zinc (Atehortua, 2013; Benítez et al., 2011; Carrión et al., 2012 ).

Sin embargo estas propiedades pueden ser aprovechadas para generar algunos productos que sirvan para mejorar los cultivos y otras actividades agropecuarias propias del campo.

Teniendo en cuenta esta problemática y la gran facilidad que tiene esta planta para propagarse , surge el siguiente interrogante:

¿Es posible aprovechar las propiedades fisicoquímicas de la *Eichhornia crassipes* (taruya), para la obtención de abono orgánico líquido a través de un proceso de transformación natural mediante la utilización de un biodigestor?

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1. Objetivo General

Obtener un abono orgánico líquido a partir de la digestión anaeróbica de la planta acuática invasora *Eichhornia crassipes* (taruya) a través de un biodigestor.

#### 3.2. Objetivos Específicos

- Construir un biodigestor para llevar a cabo el proceso de digestión anaeróbica de la *Eichhornia crassipes* (taruya) para la obtención de abono orgánico líquido.
- Determinar las condiciones de operación del biodigestor para la obtención del abono orgánico.
- Comparar los parámetros fisicoquímicos del producto (abono orgánico líquido) obtenido con la norma técnica colombiana NTC 5167.
- Realizar encuestas en la población de estudio con la finalidad de establecer los impactos generados por la propagación de la taruya.

## 4. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

### 4.1. Estado del arte

Los abonos orgánicos son todos aquellos residuos de origen animal y vegetal de los que las plantas pueden obtener importantes cantidades de nutrientes; el suelo, con la descomposición de estos residuos, se ve enriquecido con carbono orgánico y mejora sus características físicas, químicas y biológicas (Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación de México, 2012).

Los abonos orgánicos se consideran como la mejor opción para la sostenibilidad del recurso suelo; su uso ha permitido aumentar la producción y la obtención de productos agrícolas orgánicos; esto es apoyado por el desarrollo de la agricultura orgánica que se considera como un sistema de producción agrícola orientado a la producción de alimentos de alta calidad nutritiva sin el uso de insumos de síntesis comercial. Los productos obtenidos bajo este sistema de agricultura consideran un sobreprecio por su mejor calidad nutritiva e inexistencia de contaminantes nocivos para la salud (Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación de México, 2012).

López (2012) realizó una investigación sobre el aprovechamiento de la Lechuguín (*Eichhornia crassipes*) para la generación de abono orgánico mediante la utilización de tres diseños diferentes de biodigestores, teniendo como resultado que el abono orgánico obtenido cumple con la norma chilena oficial NCH2880 OF2004.

La *Eichhornia crassipes* (taruya) es una planta acuática flotante de raíces sumergidas, con hojas y flores aéreas, que carece de tallo aparente, provista de un rizoma, muy particular, del que se abre un rosetón de hojas que tiene una superficie esponjosa notablemente inflada en forma de globo, mediante el cual se mantiene sobre la superficie acuática (López , 2012).

La taruya es una de las plantas más dañinas del mundo. Sus preciosas flores púrpuras y violetas la hacen ser una planta ornamental popular para los estanques. Actualmente se la encuentra en más de 50 países en cinco continentes. La taruya tiene un crecimiento muy rápido, con poblaciones que se han duplicado en poco más de 12 días. Las infestaciones de esta mala hierba bloquean las vías fluviales, restringiendo el tráfico de barcos, la natación y la pesca. Además también impide la llegada de la luz del sol y el oxígeno a la columna de agua y a las plantas sumergidas. Su sombra y las aglomeraciones que forma sobre las plantas acuáticas nativas reducen dramáticamente la diversidad biológica en ecosistemas acuáticos (Lowe et al., 2004).

Por lo tanto la propagación de esta planta en los cuerpos de aguas ha generado diversos problemas tales como el incremento de la pérdida de agua debido a la evapotranspiración, hospedaje alternativo de plagas, costos elevados para su eliminación y manejo, restricción de actividades como la pesca y navegación (Castillo, 2013). Como alternativa para minimizar las diferentes problemáticas que esta representa, se propone la utilización de la planta para la elaboración de un abono orgánico.

Por otra parte Castillo (2013) realizó una investigación donde obtuvo como valor agregado abono orgánico a partir de la digestión anaeróbica de la *Eichhornia crassipes*, obteniendo una biomasa para su posible aplicación como enmienda, además de la generación de Biogás con fines energéticos.

La empresa pública de Medellín de Colombia (2010), ha realizado estudios para el control de la taruya debido a la propagación de esta planta en los embalses de la empresa, tales como controles físicos, químicos y manuales, los cuales han dado como resultado la minimización de hasta un 30% de la propagación de esta planta en el embalse.

La Asociación de Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo Sostenible (2011) llevo a cabo un proyecto de aprovechamiento de la taruya en el corregimiento de Chimichagua (Cesar), donde se obtuvieron tres unidades productivas tales como concentrado para animales, abono orgánico y elaboración de artesanías.

Macay (2014) hizo un proyecto de investigación del comportamiento agronómico del cultivo de la cebolla de rama (*Allium fistulosum L*), con la aplicación de abono a partir de la taruya, obteniendo mejor rendimientos de crecimientos en el cultivo de cebolla de rama.

Por consiguiente la elaboración de abono orgánico a partir de la taruya sería una posible alternativa de minimización frente a las problemáticas que esta representa.

## 4.2.Marco teórico

### 4.2.1. *Eichhornia crassipes* (Taruya)

La *Eichhornia crassipes* (taruya) es una planta acuática flotante de raíces sumergidas, con hojas y flores aéreas, que carece de tallo aparente, provista de un rizoma, muy particular, del que se abre un rosetón de hojas que tiene una superficie esponjosa notablemente inflada en forma de globo, mediante el cual se mantiene sobre la superficie acuática (López, 2012). En la Figura 1 se muestra la *Eichhornia crassipes*.

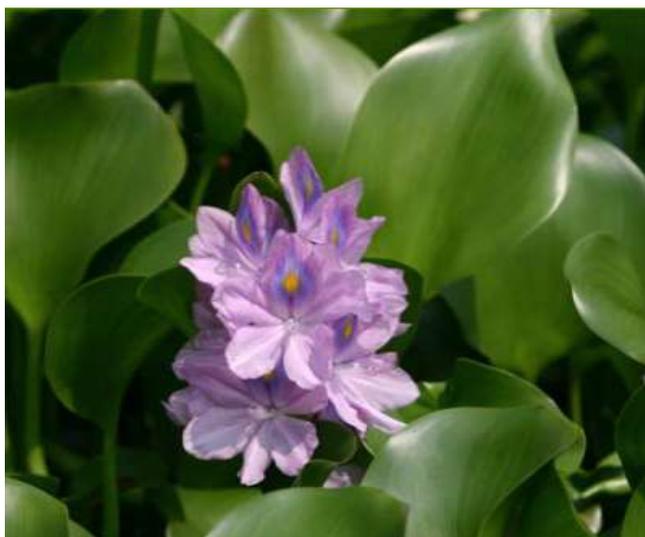


Figura 1. *Eichhornia crassipes* (Taruya)

Fuente. (Robles, 2009)

Esta especie es conocida con diversos nombres comunes como: *Aguapè* o *baronesa* (Brasil), *Buchón* o *Taruya* (Colombia), *Bora* (Venezuela), *Lechugin* (Ecuador), *Violeta de agua* (Chile), *Lechuguilla*, *Camalote*, *Jacinto de agua* o *Lirio acuático* (España), *Lila de agua* (República Dominicana) entre otros nombres (Castillo, 2013).

La Taruya es nativa de Sudamérica, es la única especie de su género estrictamente flotante y es considerada una de las 100 especies exóticas invasoras más dañinas del mundo (comisión para la cooperación ambiental, 2008). La invasión de esta planta en los cuerpos de agua genera grandes impactos negativos ambientales, sociales y económicos (Castillo, 2013).

Las preciosas flores púrpuras y violetas de esta especie la hacen ser una planta ornamental popular para los estanques. Actualmente se encuentra en más de 50 países en cinco continentes (Lowe et al., 2004).

#### 4.2.1.1. Generalidades, taxonomía y morfología

El nombre científico de la Taruya es *Eichhornia crassipes*, tiene una posición taxonómica dentro de las Pontederiaceae del reino Plantae de la división Magnoliophyta, a continuación se especifica su clasificación científica en la tabla 1.

Tabla 1. *Clasificación científica de la Eichhornia crassipes (taruya)*

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Commelinales
Familia:	Pontederiaceae
Género:	Eichhornia
Especie:	Crassipes
Nombre Binomial	

---

*Eichhornia crassipes*

---

Fuente. (Castillo, 2013)

En la figura 2 se describe la morfología de la taruya:

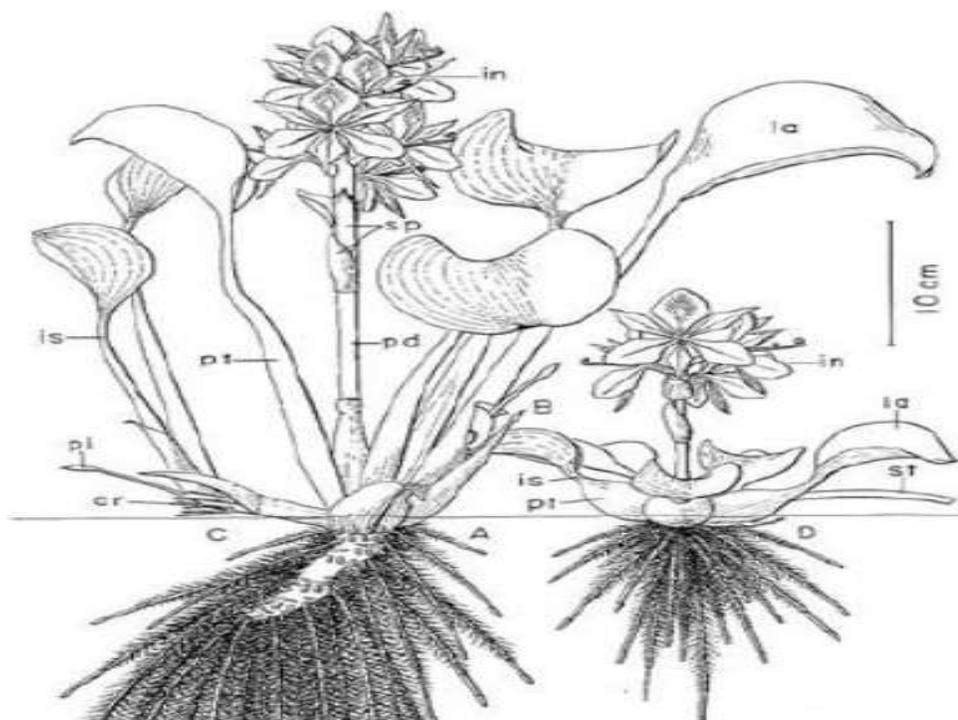


Figura 2. *Morfología de la Taruya.*

Fuente. (Castillo, 2013)

A) Roseta de peciolos atenuada en condiciones de confinamiento; B) Yema auxiliar en expansión; C) Rama en desarrollo; D) Roseta de peciolos bulbosas en condiciones abiertas; 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) Peciole de la hoja; sp) Espata; st) Estolones.

La Taruya está constituida principalmente por un 93 a 97 % de agua, 10% de lignina, 25% de celulosa, 35% de hemicelulosa, 20% de ceniza y 3% de nitrógeno (Castillo, 2013).

Habita en cuerpos de agua dulce como los son: ríos, lagos, charcas y embalses de los trópicos y subtropicos localizados a latitudes no mayores de 40°N y 45°S. Temperaturas menores de 0°C afectan su crecimiento al igual que la alta salinidad. Sin embargo, cuerpos de agua eutroficados que contienen niveles altos de nitrógeno, fosforo, potasio al igual que aguas contaminada con metales pesados como cobre y plomo no limitan su crecimiento. La Taruya puede anclarse y enraizar en suelos saturados de agua por un corto periodo de tiempo (Castillo, 2013).

La Taruya tiene un tamaño muy variable, normalmente alrededor de 30 centímetros. Su tallo es reducido, estolonifero, aunque tiene un tallo horizontal (rizoma) alargado que conecta a diferentes individuos. Sus hojas forman una roseta basal, con peciolos cortos y globosos, las láminas de las hojas casi circulares o más anchas que largas de 2.5 a 16 centímetros de largo y de 3 a 12 centímetros de ancho y ápice truncado tal como se observa en la figura 3 (López, 2012).



Figura 3. *Detalle de hojas y bulbo esponjoso, el cual facilita su flotación.*

Fuente. (Ministerio de Agricultura, pesca y alimentación de España, 2010)

Tiene flores grandes de hasta 5 centímetros de largo de color lila, variando del azul a morado, rara vez blanca con pelillos.

Los frutos tienen forma de capsula elíptica, de más o menos 1.5 centímetros de largo con 3 ángulos. Las semillas son numerosas, de poco más de 1 milímetro de largo con 10 costillas longitudinales de color negruzco (López, 2012). En la figura 4 se puede observar sus raíces fibrosas y comúnmente coloreadas.



Figura 4. *Raíces con apariencia de plumas.*

Fuente. (Ministerio de Agricultura, pesca y alimentación de España, 2010)

La taruya crece formando rosetas que a su vez están conectadas por estolones. En etapas tempranas de colonización, las rosetas son pequeñas y crecen esparcidas. En esta misma etapa, los peciolos son cortos y crecen horizontalmente a la superficie del agua. A medida que la densidad de plantas aumenta, el tamaño de cada roseta aumenta y los peciolos son más largos y crecen perpendicularmente a la superficie del agua. Los peciolos son esponjosos e inflados en el centro. Sin embargo, en etapas tardías, los peciolos anchos en el centro pueden no estar presentes (López, 2012).

La reproducción de la Taruya es sexualmente originando frutos en forma de capsula, puede multiplicarse por este mecanismo, sin embargo, su prodigiosa proliferación y reproducción artificial se efectúa por división de los estolones que los plantones emiten durante la estación favorable, originando naturalmente una tupida red vegetal capaz de

colonizar en poco tiempo una gran superficie acuática. La condición ideal para el crecimiento y reproducción de la taruya son corrientes lentas de agua, pH entre 6.8 y 7.5, alta intensidad luminosa, temperatura entre 28 y 30°C, cuerpos de aguas ricos en nutrientes, esta especie no se encuentran en aguas litorales debido a que no toleran aguas salobres que contengan más de un 15% de agua de mar. La taruya es una especie capaz de duplicar su cantidad de biomasa en tan solo diez días, obteniéndose en determinadas condiciones 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 (Castillo, 2013). En la figura 5 se muestra la conexión por estolón de una planta madre e hijo.



Figura 5. *Planta madre e hijo conectados por estolón.*

Fuente. (Robles, 2009)

#### **4.2.1.2.Mecanismos de Dispersión**

La diseminación de la taruya ocurre mayormente por el rompimiento de las rosetas conectadas a la colonia principal. En adición, la base del tallo puede desarrollar nuevas plantas luego de daño por congelación o aplicaciones de herbicidas. Aunque la producción de plántulas por medio de semilla no es común, si podría facilitar nuevas infestaciones.

Los principales factores de dispersión de la taruya a nivel mundial son:

- Dispersión natural, en donde las semillas y/o fragmentos de la taruya son transportados por factores naturales.
- Transporte accidental, cuando las semillas y/o fragmentos de la taruya son accidentalmente transportados por nadadores, los motores de las embarcaciones, etc.
- Prácticas agrícolas, en donde la taruya es utilizada como alimento para ganado porcino.
- Dispersión debida al comercio, ya que por sus llamativas flores de color violeta promueven su adquisición para ornamentar acuarios y tenerlos en macetas (Mendoza y Koleff , 2014)

#### **4.2.2. Fenómeno de las invasiones de las plantas acuáticas**

El fenómeno de las invasiones biológicas es considerado como un proceso dinámico no lineal, que una vez iniciado se va a perpetuar por sí mismo. A pesar de que se

considera como un proceso continuo, se pueden distinguir tres fases principales dentro del proceso de invasión tales como: introducción, establecimiento y dispersión.

Las estimaciones consideran como regla que 10% de las especies invasoras llegan a progresar de una fase a la siguiente. Esto implicaría que, de 1000 especies invasoras inicialmente introducidas, aproximadamente 100 podrían establecerse por sí mismas en un nuevo ambiente; y de esas 100 especies, 10 podrían establecer poblaciones permanentes en el nuevo hábitat, volviéndose naturalizadas, y solamente una se desarrollaría como invasora. No obstante, como todas las generalizaciones, hay que interpretar esto con cautela, ya que la regla se basa en datos estadísticos y puede estar sesgada por errores de muestreo y únicamente adaptarse a cierto tipo de invasiones. Así, aunque no es sorprendente, se considera que la mayor parte de las invasiones fallan (Mendoza y Koleff , 2014)

Una especie invasora es definida como una planta, animal o patógeno microscópico que, una vez sacado de su hábitat natural, se establece, propaga y daña el medio ambiente, la economía o la salud humana en su nuevo hábitat (Comisión para la cooperación ambiental, 2008).

Una especie invasora para que llegue a causar diferentes impactos negativos a nivel económico, social y ambiental; en primera instancia tiene que ser transportada fuera de su área natural y ser liberada en una nueva localidad; posteriormente necesita establecer

poblaciones autosustentables en esta nueva localidad y finalmente llegar a expandirse más allá del punto inicial de su establecimiento (Mendoza y Koleff, 2014).

Existen diferentes factores para que las especies invasoras fracasen, tales como las fluctuaciones naturales de pequeñas poblaciones, los impactos de ambientes extremos, la disponibilidad de sitios marginales o poco adaptables para la colonización y fallas en la dispersión inicial (Mendoza y Koleff, 2014).

Por otra parte el éxito de las especies invasoras con características biológicas favorables frente a obstáculos está normalmente relacionado con la frecuencia de introducción (por actividades humanas), la presencia de nuevos e inusualmente ambientes favorable (creados a menudo por la perturbación antropogénica), la ausencia de enemigos naturales (depredadores, competidores, enfermedades, parásitos) y la mayor adaptación en términos de fisiología y comportamiento de especies que evolucionaron como miembros de diversas poblaciones continentales (Mendoza y Koleff, 2014).

#### **4.2.2.1. Fases del proceso de invasión de las especies invasoras**

A continuación, se describen las fases del proceso de invasión:

##### **4.2.2.1.1. Introducción**

La introducción es la fase donde la especie invasora cruza una barrera geográfica y ambiental. La introducción de una especie invasora en un nuevo hábitat fuera de su área de distribución natural puede ser el resultado de la expansión natural de su área de

distribución o de la dispersión de la especie por los humanos. Así, la fase de introducción ocurre cuando una especie es intencional o accidentalmente liberada en una región receptora. Se puede presentar una introducción secundaria cuando una especie es introducida a partir de un área donde ya era una especie invasora. Las especies son introducidas en nuevos hábitats por las personas por tres razones principales:

- Introducciones accidentales (a menudo invertebrados y patógenos).
- Especies importadas para un propósito específico y que luego escapan.
- Introducciones deliberadas (normalmente plantas y vertebrados) (Mendoza y Koleff, 2014).

Las invasiones biológicas dependen de las oportunidades que tiene una especie para asociarse con las vías de introducción y, por otra parte, de la presencia y abundancia de hábitats en donde las especies introducidas se puedan establecer. Mientras que las introducciones accidentales o naturales de especies invasoras son eventos raros altamente impredecibles, las transferencias de especies mediadas por humanos son frecuentes y se presentan a una tasa que aumenta mucho más rápido que la dispersión natural (Mendoza y Koleff, 2014).

La introducción de una especie invasora está condicionada por cómo y cuándo alcance la región receptora y el hecho de que sobreviva inicialmente. También el genotipo de las especies introducidas tiene una gran influencia en el éxito de las introducciones y reintroducciones, y destaca el hecho de que las poblaciones que se originan de

organismos criados en cautiverio tengan menos éxito que aquellas derivadas de organismos silvestres (Mendoza y Koleff, 2014).

Por otra parte, las probabilidades de invasión están fuertemente asociadas a los medios y vectores por medio de los cuales se introducen las especies; así, las liberaciones accidentales por vías como el agua de lastre representan una especie de ruleta de invasiones con muy altas posibilidades potenciales de introducción, ya que las especies involucradas a menudo no son reconocidas sino hasta que están establecidas. No todas las especies que son introducidas sobreviven, ya que algunas no se adaptan al medio ambiente, mientras que otras pueden ser reemplazadas por las poblaciones nativas. No obstante, cuando tienen pocos depredadores, patógenos y enfermedades, serán capaces de prevalecer entre las especies nativas, principalmente por carecer de lazos coevolutivos con la comunidad receptora, pudiendo fácilmente expandirse más allá de su nicho (Mendoza y Koleff, 2014).

#### **4.2.2.1.2. Establecimiento**

El establecimiento es la fase en la cual las especies invasoras sobreviven, se reproducen y pueden mantener poblaciones en la región receptora. Las dos principales razones por las que las especies invasoras no logran establecerse son un clima inapropiado y la depredación de las mismas, pero los efectos de la competencia, las enfermedades y otros factores están probablemente subestimados porque son más difíciles de medir. Existen diferentes categorías de especies en esta fase. Una especie establecida que explota demográficamente, que puede tener una gran población con un

descenso subsecuente en el número de individuos es referida como una especie de expansión y recesión. Otra clase de especie invasora es aquella que logra sobrevivir y reproducirse, pero únicamente para existir temporalmente en la región. Mientras que una especie casual es aquella que no forma poblaciones viables y va a depender de introducciones repetidas para su existencia. En ocasiones, el establecimiento puede no ocurrir aun si la especie puede tolerar el ambiente de la región receptora, porque las condiciones óptimas para su reproducción no se presentan. Para el establecimiento temporal, las características de la especie invasora simplemente tienen que ser compatibles con las del sitio de invasión, de manera que pueda sobrevivir lo suficiente hasta que sea capaz de reproducirse (Mendoza y Koleff, 2014).

Por otra parte, las nuevas poblaciones pueden extinguirse por eventos ambientales locales, por ejemplo, inundaciones súbitas o situaciones demográficas aleatorias. De esta manera, para un establecimiento permanente, el éxito de una colonia debe estar seguido necesariamente por la dispersión a partir del sitio de invasión (Mendoza y Koleff, 2014).

#### **4.2.2.1.3. Dispersión**

La dispersión es el proceso de expansión del rango de distribución de la especie exótica a partir del lugar de introducción y es la última etapa del proceso de invasión. Una vez que una especie se ha establecido exitosamente en un área, su dispersión rápida se vuelve indispensable para que pueda persistir durante largo tiempo (Mendoza y Koleff, 2014).

Las especies invasoras pueden tener dispersiones de larga distancia (dispersión saltatoria), ya sea natural o mediada por los humanos, y también dispersiones de distancia corta (dispersión difusional) con expansiones laterales a partir de donde está establecida la población (Mendoza y Koleff, 2014).

#### **4.2.3. Impactos negativos de las invasiones de la taruya**

Los principales impactos negativos que se han identificado a nivel mundial en relación a las invasiones de la taruya son las siguientes:

- Incremento de la pérdida de agua debido a la evapotranspiración. Un cuerpo de agua cubierta con esta planta puede llegar a perder hasta 2.67 a 3.2 veces más agua.
- Es un hospedaje alternativo para plagas que atacan cultivos como el arroz y maíz.
- Cubre extensas superficies en presas, lagunas y canales impidiendo el transcurso del agua o la navegación, además afecta la supervivencia de las plantas y animales nativos.
- Elevados costos para su eliminación y manejo.
- Reduce la cantidad de luz y oxígeno en los ecosistemas acuáticos alterando el fitoplancton, las comunidades de invertebrados y a los peces.
- La invasión de los cuerpos de agua restringe las actividades de recreación, turismo, pesca, navegación y desarrollo de deportes acuáticos.
- Genera un hábitat ideal para vectores de enfermedades como cólera, tifoidea, mosquitos que producen daños a la salud humana (Castillo, 2013)

#### 4.2.4. Métodos de control de la taruya

A nivel mundial, los costos de manejo de las invasiones de la taruya son tan altos para la economía como para la ecología. Para controlar estas invasiones se han empleado diferentes mecanismos de control, a continuación, se describen los principales:

##### 4.2.4.1. Control Biológico

Diferentes insectos han sido liberados para el control biológico de la taruya en varios países, incluyendo el *Neochetina eichhorniae*, *N. bruchi*. Aunque se ha demostrado que estos insectos pueden reducir el crecimiento de la taruya, sin embargo, el problema no se reduce con su presencia (Castillo, 2013). El laboratorio de Hurlingham de la ciudad de Buenos Aires (Argentina) buscó la forma de controlar la taruya en el dique Los Sauces, a pocos kilómetros de la ciudad de La Rioja. Eligió como agente de control al gorgojo nativo *Neochetina bruchi*. Luego de algunos años se pudo constatar una marcada reducción de la taruya (Cabrera et al., 2002).

En ciudades como la Florida (E.E.U.U) se han importado tres insectos: el gorgojo moteado (*Neochetina eichhorniae*), el gorgojo chevroned (*Neochetina bruchi*) y la polilla argentina (*Sameodes albiguttalis*), los cuales han sido estudiados y liberados para el control de la taruya. Estos insectos han reducido el tamaño, vigor, producción de flores y semillas de esta planta, pero han sido insuficientes para el control de grandes áreas. Sin embargo, la Universidad de Florida a través de su Centro de Plantas Acuáticas e Invasivas ha demostrado que los insectos no son capaces de controlar la taruya y por ello es necesario ejercer otro tipo de controles. Adicionalmente, la selección de un solo

insecto ha requerido estudios que se han prolongado hasta más de 5 años (Empresa pública de Medellín E.S.P, 2010)

Otros de los organismos utilizados para el control biológico de la taruya han sido el pez *Ctenopharygodon idella*, la carpa herbívora (*Grass carp*) o carpa china y las del genero *Tilapia* y también hongos como *Acremonium zonatum*, *Cercospora piaropi* y *Alternaria eichhorniae* (Ministerio de Agricultura, pesca y alimentación de España, 2010).

#### **4.2.4.2. Control Químico**

El control químico a través de herbicidas es uno de los métodos más utilizados para el manejo de la taruya. En general los productos químicos, absorbidos por las plantas, provocan una alteración en los procesos metabólicos, en los de crecimiento o en ambos, y finalmente la muerte de la vegetación y su posterior hundimiento (Gutiérrez et al., 2000).

Se han utilizado herbicidas sistémicos tales como el 2,4-D, triclopyr y el glifosato. Programas de control de la taruya en grandes áreas de infestación han utilizado mayormente 2,4-D, debido a que su costo es mucho menor (Empresa pública de Medellín E.S.P, 2010).

#### **4.2.4.3. Control Mecánico**

La extracción física es una solución para controlar pequeños focos iniciales, pueden ser por vía manual, por dragado o utilizando una cosechadora especialmente diseñadas para este fin. Si es posible, se recogerán las plantas completas, sin romperlas, pues los fragmentos pueden iniciar nuevas infestaciones (Ministerio de Agricultura, pesca y alimentación de España, 2010).

Múltiples máquinas han sido utilizadas desde hace más de 100 años para cortar, picar, aplastar, prensar, tirar o remover las plantas acuáticas. El control mecánico ha sido usualmente restringido a pequeñas áreas donde es necesario aplicarlo inmediatamente (Empresa pública de Medellín E.S.P, 2010).

Los resultados han sido exitosos en cuerpos de agua pequeños, pero poco efectivos en cuerpos de agua con grandes invasiones donde las máquinas más grandes y eficientes tan sólo pueden limpiar entre 3 y 4 hectáreas por día (Empresa pública de Medellín E.S.P, 2010).

#### **4.2.4.4. Control Físico**

El control físico consiste en el retiro manual mediante la utilización de colorantes como barreras a la luz solar, reducción de los niveles o desagüe de cuerpos para lograr la deshidratación de las plantas, barreras para confinar e impedir el crecimiento, quema de plantas deshidratadas y dragados de cuerpos de agua. Los resultados han sido exitosos

en cuerpos de agua pequeños (lagos privados) pero poco efectivos o muy costosos en cuerpos de agua con grandes invasiones (Empresa pública de Medellín E.S.P, 2010).

#### **4.2.5. Abono orgánico**

Los abonos orgánicos son todos aquellos residuos de origen animal y vegetal de los que las plantas pueden obtener importantes cantidades de nutrientes; el suelo, con la descomposición de estos abonos, se ve enriquecido con carbono orgánico y mejora sus características bioquímicas, y biológicas (Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación, 2012).

El uso de los abonos orgánicos ayuda a mantener y mejorar la disponibilidad de nutrimentos en el suelo y así obtener mayores rendimientos en los diferentes cultivos. Entre los abonos orgánicos se incluyen los estiércoles, compostas, vermicompostas, abonos verdes, residuos de las cosechas, residuos orgánicos industriales, aguas negras y sedimentos orgánicos. Los abonos orgánicos son muy variables en sus características físicas y composición química principalmente en el contenido de nutrientes (Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación, 2012).

Los abonos orgánicos debido a su composición son formadores del humus y enriquecen al suelo, logrando modificar algunas de las propiedades y características del suelo como su reacción (pH), cargas variables, capacidad de intercambio iónico, quelatación de elementos, disponibilidad de fósforo, calcio, magnesio y potasio, y desde luego la población microbiana, haciéndolo apropiado para el buen desarrollo y

rendimiento de los cultivos. Por otra parte mediante la elaboración de abonos orgánicos se obtiene reducción en los costos de producción y se evita la eliminación de organismos y animales benéficos para el desarrollo de las plantas, la contaminación ambiental y los riesgos a la salud del hombre (Sánchez, 2011).

#### **4.2.5.1. Aplicación de abonos orgánicos**

La aplicación de abonos orgánicos al suelo aumenta la oferta de nutrientes de las plantas (Marbeuf, 2002)

Los abonos orgánicos son sencillos de elaborar, se utilizan materiales económicos y tienen una gran disponibilidad, proporcionan materia orgánica constante y mejoran la fertilidad de los suelos.

Los suelos conservan mayor humedad y mejoran la incorporación de los nutrientes, aumenta la macrofauna y mesofauna del suelo, no son tóxicos, favorecen el establecimiento y reproducción de microorganismos benéficos en los terrenos de siembra.

Los nutrientes necesarios para el crecimiento de la mayoría de las plantas son dieciséis y estos provienen del aire y del suelo circundante. Los siguientes elementos son derivados:

- Del aire: carbono (C) como CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono).
- Del agua: hidrogeno (H) y oxigeno (O) como H<sub>2</sub>O (agua).

- Del suelo, fertilizantes y abonos: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl) (Marbeuf, 2002)

A continuación, se describe los diferentes efectos que representa la aplicación de abonos orgánicos sobre las características físicas, químicas, biológicas e inhibición de patógenos del suelo:

#### **4.2.5.1.1. Efectos sobre las características físicas del suelo**

Los abonos orgánicos influyen favorablemente sobre las características físicas del suelo tales como: estructura, porosidad, aireación, capacidad de retención de agua, infiltración, conductividad hidráulica y estabilidad de agregados. Un aumento en la porosidad del suelo aumenta la capacidad del suelo para la retención de agua incrementando simultáneamente la velocidad de infiltración de la misma al suelo (Cajamarca, 2012).

#### **4.2.5.1.2. Efectos sobre las características químicas del suelo**

Las características químicas del suelo que cambian son el contenido de materia orgánica aumentando así el porcentaje de nitrógeno total, la capacidad de intercambio de cationes, el pH y la concentración de sales (Cajamarca, 2012).

Contribuye a incrementar la fertilidad del suelo mediante la liberación de varios nutrientes esenciales para las plantas entre los cuales se destacan el Nitrógeno (N), el

Fósforo (P), el Azufre (S) y algunos elementos menores, como el Cobre (Cu) y el Boro (B) (Cajamarca, 2012).

Incrementa la capacidad buffer o amortiguadora del suelo, es decir, su habilidad para resistir cambios bruscos en el pH cuando se adicionan sustancias o productos que dejan residuo ácido o alcalino. Ejemplo: cuando la úrea y el sulfato de amonio se aplican al suelo se produce nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) que bajo condiciones de buena aireación se nitrifica liberando Hidrógenos que incrementan la acidez del suelo. En esos casos la materia orgánica actúa como amortiguador disminuyendo la acidez generada por los dos fertilizantes. (Cajamarca, 2012)

#### **4.2.5.1.3. Efectos sobre las características biológicas del suelo**

La actividad microbiana influye sobre muchas propiedades del suelo teniendo efectos directos sobre el crecimiento de las plantas. En general el resultado del incremento de la actividad biológica repercute en el mejoramiento de la estructura del suelo por efecto de la agregación que los productos de la descomposición ejercen sobre las partículas del suelo; las condiciones de fertilidad aumentan lo cual hace que el suelo tenga la capacidad de sostener un cultivo rentable. Asimismo, se logra tener un medio biológicamente activo, en donde existe una correlación positiva entre el número de microorganismos y el contenido de materia orgánica del suelo (Cajamarca, 2012).

#### **4.2.5.1.4. Efectos sobre la inhibición de patógenos del suelo**

La aplicación de abonos orgánicos contribuye a la prevención y control de la presencia de enfermedades al suelo, debido a que se incrementa la capacidad biológica del suelo amortiguando los patógenos y se reduce el número de patógenos por la competencia microbiológica (Cajamarca, 2012).

Los mecanismos por lo que los abonos orgánicos inhiben a los patógenos del suelo y enfermedades radiculares involucra diferentes factores como la germinación y propagación de los fitopatogenos, la competencia por nutrientes, la producción de compuestos tóxicos volátiles y no volátiles, la modificación del ambiente del suelo, la interferencia con la diseminación del inóculo y el estímulo de agentes de control biológico (antagonistas, parásitos y depredadores). (Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación, 2012).

#### **4.2.6. Digestión anaeróbica**

La digestión anaeróbica es un proceso biológico degradativo en el cual, parte de la materia orgánica contenida en un sustrato es convertida en una mezcla de gases, principalmente metano y dióxido de carbono, mediante la acción de un conjunto de microorganismos en ausencia de aceptores de electrones de carácter inorgánico ( $O_2$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{=}$ ) (Ortega, 2006).

#### **4.2.6.1.Fases de la digestión anaeróbica**

La digestión anaeróbica es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas. De hecho, muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea. El proceso de digestión anaeróbica se divide en las siguientes fases:

##### **4.2.6.1.1. Fase de la hidrólisis**

El hidrolisis de la materia orgánica polimérica a compuestos solubles o monómeros es el paso inicial para la digestión anaeróbica de sustratos orgánicos complejos, debido a que los microorganismos únicamente pueden utilizar materia orgánica soluble que pueda atravesar su pared celular. Por lo tanto, es el proceso de hidrolisis el que proporciona sustratos orgánicos para la digestión anaeróbica. El hidrolisis de estas moléculas complejas es llevado a cabo por la acción de enzimas extracelulares producidas por los microorganismos hidrolíticos (Ortega, 2006).

La fase de la hidrolisis puede ser el proceso limitante de la velocidad global del proceso sobre todo cuando se tratan residuos con alto contenido en sólidos y esta además depende de la temperatura del proceso, del tiempo de retención, de la composición del sustrato (porcentaje de lignina, carbohidratos, proteínas, y grasas), del tamaño de partículas, de pH, de la concentración de  $\text{NH}_4$  y de la concentración de los productos de la hidrólisis (Ortega, 2006).

Los sustratos se componen de tres tipos básicos de macromoléculas: hidratos de carbono, proteínas y lípidos. Las proteínas constituyen un sustrato muy importante en el proceso de digestión anaeróbica debido a que son fuentes de carbono y energía, los aminoácidos derivados de su hidrólisis tienen un elevado valor nutricional. Parte de estos aminoácidos son utilizados directamente en la síntesis de nuevo material celular y el resto son degradados a ácidos volátiles, dióxido de carbono, hidrógeno, amonio, y sulfuros en posteriores etapas del proceso (Ortega, 2006).

La velocidad de degradación de los materiales lignocelulósicos, compuestos por lignina, celulosa y hemicelulosa, son lentos por lo que suelen ser la fase limitante del proceso de hidrólisis y por tanto de la degradación anaeróbica de determinados sustratos 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. Los principales productos de la hidrólisis de la celulosa son celobiosa y glucosa (Ortega, 2006).

#### **4.2.6.1.2. Fase fermentativa o acidogénica**

Durante esta fase tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (acético, fórmico,  $H_2$ ), y compuestos orgánicos más reducidos (propionico, butírico, valérico, láctico y etanol principalmente) que tiene que ser oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente fase del proceso (Ortega, 2006).

#### **4.2.6.1.3. Fermentación de carbohidratos solubles**

La principal ruta metabólica de degradación de glucosa para formar ácidos orgánicos es la de Embden-Meyerhof. Que tiene como principal intermediario el piruvato. La fermentación de azúcares se realiza por diversos tipos de microorganismos en función de cada organismo, la ruta metabólica y los productos finales son diferentes (Ortega, 2006).

Los principales microorganismos asociados a la degradación de la glucosa son del género *Clostridium* y convierten la glucosa en butírico, acético, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>. La glucosa se convierte en piruvato mediante la ruta Embden – Meyerhof, y el piruvato se desdobra a Acetil – CoA y CO<sub>2</sub> (Ortega, 2006).

El Acetil-coA se reduce en los productos de fermentación empleando como transportador de electrones de NADH derivado de las reacciones glucolíticas de la ruta Embden- Meyerhof (Ortega, 2006).

#### **4.2.6.1.4. Fase acetogénica**

Mientras que algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos (H<sub>2</sub> y acético), otros (etanol, ácidos grasos volátiles como valerato, butirato, propionato, algunos compuestos aromáticos, etc.) deben ser transformados en productos más sencillos, acetato y H<sub>2</sub>, a través de las bacterias acetogénicas (Acosta y Obaya, 2005).

Representantes de los microorganismos acetogénicos son *Syntrophomonas wolfei* y *Syntrophobacter wolini*. Desde el punto de vista termodinámico, estas reacciones no son posibles porque en condiciones estándar (pH= 7, T=25°C, P=1 atm), presentan energías libres de reacción positivas (Acosta y Obaya, 2005).

Sin embargo, a presiones parciales de H<sub>2</sub> Bajas (del orden de 10<sup>-4</sup>-10<sup>-5</sup> atm), estas reacciones pasan a ser termodinámicamente favorables y la variación de energía libre es suficiente para permitir la síntesis de la ATP y el crecimiento bacteriano. Por tanto, el principal inhibidor de la acetogénesis, cuya acumulación provoca la rápida acumulación de sustratos, es la acumulación de hidrógeno molecular (Acosta y Obaya, 2005).

Un tipo especial de microorganismos acetogénicos, son los llamados homoacetogénicos. Este tipo de bacterias son capaces de crecer heterotróficamente en presencia de azúcares o compuestos mono carbonados (como la mezcla de H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>) produciendo como único producto acetato. Al contrario que las bacterias acetogénicas, estas no producen hidrógeno como resultado de su metabolismo, sino que lo consumen como sustrato (Acosta y Obaya, 2005).

El resultado neto del metabolismo homoacetogénico permite mantener bajas presiones parciales del hidrógeno y, por tanto, permite a la actividad de las bacterias acidogénicas y acetogénicas. Los principales microorganismos homoacetogénicos que han sido aislados son *Acetobacterium woodii* o *Clostridium acetium* (Ortega, 2006).

#### 4.2.6.1.5. Fase metanogénica

Los microorganismos metanogénicos completan el proceso de digestión anaeróbica mediante la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente: acetato  $H_2/CO_2$ , metanol y algunas metilaminas (Acosta y Obaya, 2005).

Los organismos metanogénicos se clasifican dentro del dominio Archaea y tienen características comunes que los diferencian del resto de procariontes. Un ejemplo es que todos ellos poseen varias coenzimas especiales, siendo la coenzima M, la que participa en la fase final del proceso de digestión anaeróbica (Acosta y Obaya, 2005).

Se pueden establecer dos grandes grupos de microorganismos, en función del sustrato principal que metabolizan: hidrogenotróficos, que consumen  $H_2/CO_2$  y fórmico y acetoclasticos, que consumen acetato, metanol algunas aminas. Las principales reacciones metanogénicas se recogen (Ortega, 2006).

Se ha demostrado que un 70% del metano producido en los reactores anaerobios se forma a partir del acetato a pesar de que, mientras todos los organismos metanogénicos son capaces de utilizar el  $H_2$  como aceptor de electrones, solo dos géneros pueden utilizar acetato. Los dos géneros que tienen especies acetotróficas son *Methanosarcina* y *Methanotriza* (Ortega, 2006). En la tabla 2 se describen las principales reacciones metanogénicas.

Tabla 2. *Principales reacciones metanogénicas.*

Reacciones hidrogenotroficas	$\Delta G^\circ$ ( KJ)
$4H_2 + H^+ + 2HCO_3^- \rightarrow \text{Acetato} + 4H_2O$	-104.6
$4H_2 + 4S^\circ \rightarrow 4HS^- + 4H^+$	-112
$4H_2 + 2HCO_3^- + H^+ \rightarrow CH_4 + 3H_2O$	-135.6
$4H_2 + 4SO_4^{2-} + H^+ \rightarrow HS^- + 4H_2O$	-151,9
$4H_2 + NO_3^- \rightarrow 4 \text{ fumarato} \rightarrow \text{Asuccinato}$	-344.6
$4H_2 + NO_3^- + 2H^+ \rightarrow NH_4^+ + 3H_2O$	-599.6
Interconversión formato- hidrogeno	
$H_2 + HCO_3^- \rightarrow \text{Formato} + H_2O$	-1.3
Metanogenesis acetoclastica	
$\text{Acetato} + H_2O \rightarrow HCO_3^- + CH_4$	-31.0
Metanogenesis a partir de otros sustratos	
Fórmico $4HCOOH \rightarrow CH_4 + 3CO_2 + 2H_2O$	
Metanol $4CH_3OH \rightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2H_2O$	
Trimetil – amina $4(CH_3)_3 N + 6H_2O \rightarrow 9CH_4 + 3CO_2 + 4NH_3$	
Dimetil – amina $2(CH_3)_2 NH + 2H_2O \rightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2NH_3$	
Monometil – amina $4(CH_3)NH_2 + 2H_2O \rightarrow 3CH_4 + CO_2 + 4NH_3$	

Fuente. (Ortega, 2006)

#### 4.2.6.2. Condiciones óptimas para la digestión anaeróbica

Las condiciones principales para la digestión anaeróbica son:

- **Temperatura:**

El rango de temperatura dentro de la cuales se realiza la metanogénesis es amplia, el proceso puede tener lugar entre 5°C y 65°C; sin embargo es optimo solo en dos zonas de temperatura a 25°C (fase mesofilica) y 60°C (fase termofila). A mayor temperatura las velocidades de reacción son maximas, es preferible trabajar en el rango mesofilico ya que a temperaturas de digestión altas, los rendimientos energeticos son mas bajos, debido a las necesidades calorificas para mantener el biodigestor a 60°C. A medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión dando lugar a mayores producciones de biogás (Pascual, 2011).

Variaciones bruscas de temperatura en el biodigestor pueden provocar la desestabilización del proceso. Por ello, para garantizar una temperatura homogénea en el biodigestor, es imprescindible un sistema adecuado de agitación y un controlador de temperatura (Ortega, 2006).

- **pH:**

Los efectos del pH se reflejan en la actividad enzimática de los microorganismos. Las formas generales en que el pH influye en la actividad microbiana pueden resumirse asi:

- Cambio de los grupos hidrolizables de las enzimas (grupos carboxilos y aminas).

- Alteración de los compuestos no enzimáticos del sistema (ionización del sustrato, desnaturalización de la estructura proteica de la enzima) (Acosta y Obaya, 2005).

A estos efectos del pH deben adicionarse la concentración de  $H^+$  que influye sobre las diferentes reacciones químicas, bioquímicas y biológicas que ocurren en este sistema (Acosta y Obaya, 2005).

Se plantea en general que el valor óptimo de pH para la digestión anaerobica es de 7. En la práctica se ha visto que al alejarse de este valor, la eficiencia del proceso disminuye, aunque se ha comprobado que para valores fuera del rango el proceso no se inhibe hasta cierto valor particular (Acosta y Obaya, 2005).

Los diferentes grupos bacterianos presentes en el proceso de digestión anaerobica presentan unos niveles de actividad óptimos en torno a la neutralidad entre los siguientes valores:

Fermentativos: entre 7.2 y 7.4

Acetogenicos: entre 7.0 y 7.2

Metanogenicos: entre 6.5 y 7.5 (Pascual, 2011).

Para que el proceso se desarrolle satisfactoriamente, el pH no debe bajar de 6 ni subir de 8 (Pascual, 2011).

Por otra parte, el pH afecta a los diferentes equilibrios químicos existentes en el medio, pudiendo desplazarlos hacia la formación de un determinado componente que tenga influencia en el proceso. Este es el caso de los equilibrios ácidos-base del amoníaco y del ácido acético al aumentar el pH se favorece la formación de amoníaco que en elevadas concentración, es inhibidor del crecimiento microbiano y a pH bajos se genera mayoritariamente la forma no ionizada del ácido acético, que inhibe el mecanismo de degradación del propionato (Pascual, 2011).

- **Alcalinidad:**

El pH y la alcalinidad son los parámetros más importantes debido a que son indicadores de la operación del biodigestor. La alcalinidad determina la capacidad del biodigestor de poder neutralizar un aumento eventual de ácidos grasos. Con una alcalinidad baja, un pequeño aumento de ácidos grasos provoca una disminución significativa de pH (Pascual, 2011).

La alcalinidad es una medida de la capacidad tampón del medio. En el rango de pH del proceso de digestión anaerobia, el principal equilibrio que controla la alcalinidad es el del dióxido de carbono/bicarbonato. Estudios previos han demostrado que valores de alcalinidad de bicarbonato por encima de 2500mg/l, aseguran un buen control de pH y una adecuada estabilidad del sistema (Ortega, 2006)

- **Materia orgánica:**

La digestión anaeróbica se lleva a cabo por la acción bacteriana por lo cual se requiere de un sustrato alimentador que contengan los elementos nutritivos para los microorganismos asegurando su crecimiento y multiplicación (Pascual, 2011).

- **Relación carbono/ nitrógeno:**

El carbono y el nitrógeno son dos principales elementos requeridos por los microorganismos y deben estar en una relación óptimas. Si hay poco nitrógeno las bacterias no producen las enzimas necesarias para utilizar el carbono y si por el contrario hay demasiado se puede inducir a la inhibición. El valor óptimo de la relación C/N es de 20:1 y 30:1 aproximadamente (Pascual, 2011).

- **Carga orgánica:**

Este parámetro determina la cantidad de materia orgánica a introducir en el biodigestor por unidad de volumen y por día. Con respecto al tiempo de retención, ésta determina la concentración máxima que entrará en el biodigestor (Ortega, 2006).

- **Tiempo de retención:**

El tiempo de retención consiste en el periodo de tiempo que deben permanecer la carga orgánica en el biodigestor antes de ser extraído como producto final. El tiempo de retención es el resultante del cociente entre el volumen neto del biodigestor y la carga orgánica entrante (Ortega, 2006).

El tiempo de retención se calcula de la siguiente forma:

$$Tr = \frac{VNB}{C}$$

Donde:

Tr = Tiempo de retención (meses).

VNB = Volumen neto del biodigestor (m<sup>3</sup>).

C = Carga orgánica (m<sup>3</sup>/mes).

- **Nutrientes:**

Una de las ventajas de los procesos de digestión anaeróbica, frente a los procesos aeróbicos es su baja necesidad de nutrientes derivada de los bajos índices de producción de biomasa que presentan los microorganismos. El carbono, el nitrógeno y el fosforo, y una serie de elementos minerales como S, K, Na, Ca, Mg y Fe que deben de estar presentes a nivel de trazas (Ortega, 2006).

- **Tóxicos e inhibidores:**

El proceso de digestión anaeróbica es inhibido por la presencia de tóxicos en el sistema. Estas sustancias pueden ser subproductos de la actividad metabólica de los microorganismos anaeróbicos o pueden formar parte del influente. Experimentalmente se ha comprobado que la magnitud del efecto toxico de una sustancia puede ser reducido significativamente por aclimatación de la población de microorganismos al toxico. Por otra parte, muchas de estas sustancias a bajas concentraciones pueden ser estimuladoras del proceso (Ortega, 2006).

- **Hidrógeno:**

El hidrogeno es también un compuesto intermedio importante del proceso anaeróbico. Su acumulación en el medio, provoca la inhibición de la acetogénesis y, consecuentemente, la acumulación de ácidos grasos volátiles con más de dos átomos de carbono (Ortega, 2006).

- **Ácidos grasos volátiles:**

Los acidos grasos, acetico, propionico y butirico son precursores directos de la fase metanogenica en el biodigestor, mediante la conversion directa del acetato o mediante las fase intermedias de formación de hidrogeno y dióxido de carbono. Al estar en excesos se inicia un desequilibrio biologico que acosasiona la disminucion del pH y la producción de biogas. Aunque la determinacion cualitativa y cuantitativa de los acidos grasos es importante, en general es dificil conseguir los medios para realizar los analisis correspondientes (Pascual, 2011).

- **Nitrógeno amoniacal:**

Durante el proceso anaeróbico, el nitrógeno orgánico es hidrolizado dando lugar a formas amoniacales. Aunque el nitrógeno amoniacal es un nutriente importante para el crecimiento bacteriano, una concentración excesiva puede limitar su crecimiento (Pascual, 2011).

El nitrógeno amoniacal es la suma del ion amonio ( $\text{NH}_4$ ) y del amoniaco ( $\text{NH}_3$ ). Ambas especies se encuentran en equilibrio químico, y la concentración relativa de cada una depende del pH, tal y como indica la ecuación de equilibrio (Pascual, 2011).



De las dos especies, la que parece inhibir el proceso es el amoniaco libre ya que se ha comprobado experimentalmente que el efecto inhibitorio por amonio aumenta a pH alcalinos. Además el pH, la cantidad del amoniaco libre depende de la concentración del sustrato, relación C/N, capacidad taponadora del medio y la temperatura de la digestión. Obviamente, aquellos residuos que contengan mayores proporciones de proteínas u otros compuestos nitrogenados son los que presentan más problemas de inhibición por amonio (Ortega, 2006).

- **Sulfatos y sulfuros:**

La presencia de elevadas concentración de sulfato en el sustrato puede producir la inhibición del proceso anaeróbico, especialmente de la metanogénesis. En presencia de sulfatos, las bacterias metanogénicas compiten con las sulfato-reductoras por los mismos sustratos (acetato e hidrogeno). El resultado de esta competición determinara la proporción de sulfhídrico y metano en el biogás producido (Pascual, 2011).

El sulfuro es también un inhibidor para muchos grupos bacterianos. En general, los metanogenicos son más sensibles que los acidogénicos y acetogénicos, comenzando a

ser toxica una concentración de 50mL si los microorganismos no están aclimatados a los sulfuros. Parece que la forma toxica es la no ionizada, por lo que la inhibición se favorece a pH a bajas temperaturas (Pascual, 2011).

Por tanto, la inhibición tiene dos etapas, la primera debida a la competición por el sustrato entre los microorganismos metanogenicos y sulfatos-reductores y la segunda es una inhibición directa del crecimiento metanogénico por la presencia de sulfuros solubles (Ortega, 2006).

- **Cationes y metales pesados:**

Los cationes de metales alcalinos y alcalinotérreos tienen un efecto estimulador de la actividad de las bacterias a bajas concentraciones (Ortega, 2006).

Los niveles de inhibición varían mucho en función de varios factores. Si la introducción del catión en el reactor se produce de forma gradual, los microorganismos pueden aclimatarse y el efecto toxico es menor. La presencia de sulfuros también disminuye la inhibición debido a la precipitación de estos con los metales pesados, pudiendo llegar a tolerarse elevadas concentraciones de metales pesados en estos casos (Ortega, 2006).

Cuando se presentan combinaciones de estos cationes, el efecto que se produce es más complejo. Algunos actúan antagónicamente, reduciendo la toxicidad, y otros actúan sinérgicamente aumentándola (Ortega, 2006).

- **Otros inhibidores:**

Debido a que la fase de fermentación metanogénica tiene etapas realizadas por microorganismos estrictamente anaeróbicos, el oxígeno es un toxico más del proceso. Concentraciones del orden de  $1\mu\text{g/L}$  son inhibitoras (Ortega, 2006).

También cabe señalar como inhibidores del proceso: el pH, determinadas sustancias orgánicas como ácidos grasos de cadena larga y alcoholes, en elevadas concentraciones, y la presencia de desinfectantes y antibióticos (Ortega, 2006).

#### **4.2.7. Biodigestor**

El biodigestor es un tanque cerrado herméticamente el cual tiene como funcionamiento la biodegradación de la materia orgánica ya sea de origen animal o vegetal, y en cual se obtiene como producto final un sustrato estabilizado.

##### **4.2.7.1. Clases de biodigestores**

###### **4.2.7.1.1. Según método de construcción:**

###### **4.2.7.1.1.1. Biodigestor de domo flotante (India)**

Consiste en un tambor originalmente hecho de acero pero después reemplazado por fibra de vidrio reforzado en plástico (FRP) para superar el problema de corrosión. Normalmente se construye la pared del reactor y fondo de ladrillo, aunque a veces se usa refuerzo en hormigón (Pérez, 2010)

La tapa y la base son semiesferas y son unidos por lados rectos. La superficie interior es sellada por muchas capas delgadas para hacerlo firme. Hay un tapón de inspección en la cima del biodigestor que facilita la limpieza. El gas producido durante la digestión se almacena bajo el domo con presiones entre 1m y 1.5 m de columna de agua. Esto crea fuerzas estructurales bastante altas y es la razón para la forma semiesférica. Se necesitan materiales de alta calidad y recursos humanos costosos para construir este tipo de biodigestor. El reactor se alimenta semicontinualmente a través de una tubería de entrada (Pérez, 2010). En la figura 6 se detalla la estructura de este biodigestor.

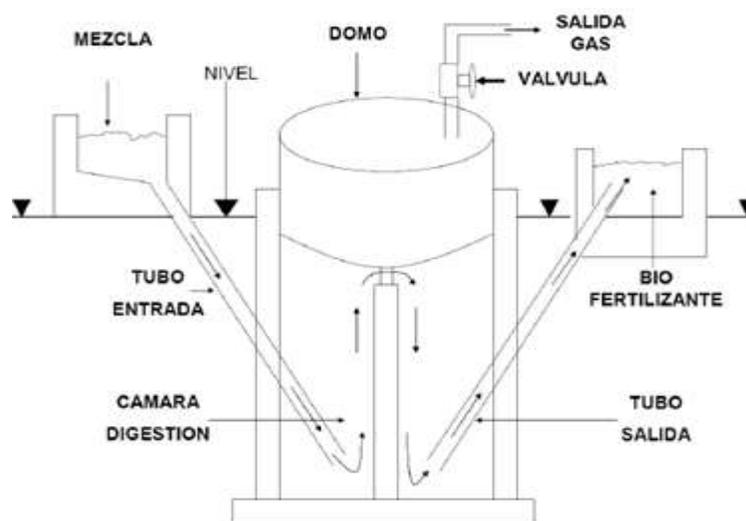


Figura 6. *Esquema biodigestor de domo flotante.*

Fuente. (Pérez, 2010)

La entrada de la carga diaria por gravedad hasta el fondo del pozo, además de producir agitación, provoca la salida de un volumen equivalente de lodos digeridos, desde la superficie o desde el fondo, según el diseño del sistema, los que se hacen fluir hasta una pileta para su aplicación a los cultivos. Para aumentar la retención de la materia orgánica,

posee un tabique central. En este caso, los materiales usados son preferentemente excretas, las que deben estar bien diluidas y mezcladas homogéneamente (Varnero, 2011).

#### 4.2.7.1.1.2. Biodigestor horizontal

Estos digestores se construyen generalmente enterrados, son poco profundos y alargados, semejando un canal, con relaciones de largo a ancho de 5:1 hasta 8:1 y sección transversal circular, cuadrada o en “V”. Se operan a régimen semicontinuo, entrando la carga por un extremo del biodigestor y saliendo los lodos por el extremo opuesto. La cúpula puede ser rígida o de algún material flexible que no presente fugas de gas y que resista las condiciones de la intemperie (Varnero, 2011).

Este tipo de biodigestor se recomiendan cuando se requiere trabajar con volúmenes mayores de 15 m<sup>3</sup>, para los cuales, la excavación de un pozo vertical comienza a resultar muy problemática. En la figura 7 se detalla su estructura.

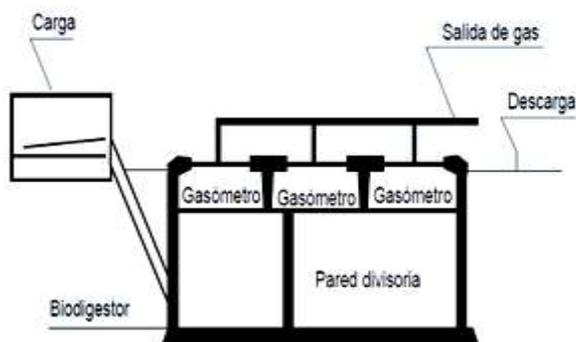


Figura 7. Esquema biodigestor horizontal.

Fuente. (Varnero, 2011)

#### **4.2.7.1.2. Según método de carga**

##### **4.2.7.1.2.1. Sistema Batch o discontinuo**

Este tipo de biodigestor se carga una sola vez en forma total y la descarga es completa. Normalmente consiste en tanques herméticos con una salida de gas conectada a un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás. Este sistema es aplicable cuando la materia orgánica a procesar está disponible en forma intermitente. Este tipo de digestor es también ideal a nivel de laboratorio si se desean evaluar los parámetros del proceso o el comportamiento de un residuo orgánico o una mezcla de ellos (Reyes, 2011)

Estos biodigestores se han diseñado preferentemente para tratar residuos orgánicos con alto contenido en sólidos y, por lo tanto, los periodos de retención son bastante prolongados. Este tipo de biodigestores son eficaces para la digestión de materiales celulósicos que no pueden ser tratados en los biodigestores de tipo continuo debido al posible taponamiento de los conductos de alimentación y salida. Su utilización no está muy difundida (Pazmiño, 2015)

En estos sistemas al comienzo hay mucha biomasa y pocas bacterias, al final tienen muchas bacterias y poca masa orgánica. La operación involucra principalmente cargar un biodigestor que permanecerá cerrado con sustrato, un inoculante (20%) y en algunos casos, una base para mantener el pH casi neutral. El biodigestor es sellado, y la fermentación se realiza entre 30 y 180 días, dependiendo de la temperatura ambiente (Pazmiño, 2015). En la figura 8 se representa el esquema de este tipo de biodigestor.

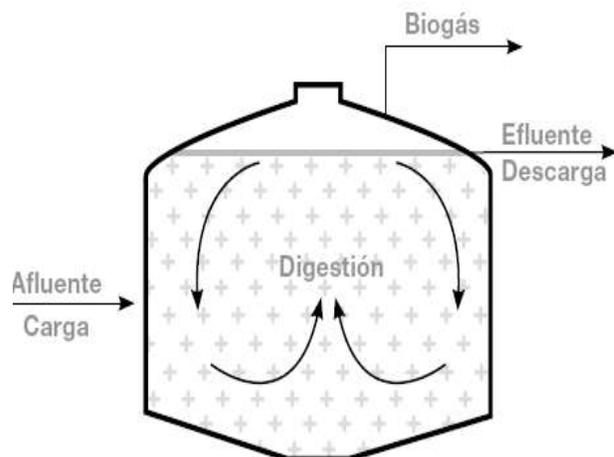


Figura 8. *Esquema biodigestor de flujo discontinuo.*

Fuente. (Pazmiño, 2015)

#### 4.2.7.1.2.1.1. **Ventajas del biodigestor discontinuo**

- Ocupa menor volumen de digestor por volumen de biogás producido, debido a la alta concentración de materia seca en el sustrato (40 – 60%).
- Ocupa de 60 – 80% menos de agua que los biodigestores continuos y semicontinuos.
- No necesita agitación diaria.
- No sufre cambios de temperaturas violentos.
- Ocupa menos mano de obra, ya que no necesita carga diaria, sino cada 2 o 3 meses para carga y descarga.
- La mayor parte de la materia orgánica se obtiene en forma sólida, siendo más fácil de esparcir en la preparación de suelos.

- No requiere de cuidados especiales que pueda causar accidentes en la fermentación anaeróbica (Varnero, 2011).

#### **4.2.7.1.2.2. Sistemas semicontinuos**

Los diseños más populares son el hindú y el chino. Entre los de tipo hindú existen varios diseños, pero en general son verticales y enterrados. Se cargan por gravedad una vez al día, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de retención y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogás si se mantienen las condiciones de operación (Reyes, 2011).

#### **4.2.7.1.2.3. Sistemas continuos**

Se caracterizan porque la carga orgánica que ingresa es constante, la disposición de materia orgánica para alimentar estos sistemas es prácticamente diaria y el tiempo de retención es menor en comparación a los sistemas discontinuos (Samayoa et al., 2012).

En esta clasificación caben diferentes sistemas de biodigestión, como biodigestores de mezcla completa, filtro anaerobio, plantas de lecho fluidizado, lecho de lodos, biodigestores tubulares (tipo salchicha) biodigestores de cúpula fija y móvil, entre otros. Algunos de estos sistemas son complejos, pero conocerlos es importante ya que estos sistemas de biodigestión son muy utilizados para tratar residuos en general. Los tiempos en que se retiene la materia orgánica y el agua residual dentro del biodigestor dependerán del diseño (Samayoa et al., 2012).

Cuando comienza la biodigestión normal y la producción del biogás después de cierto periodo a partir de una carga inicial, se agregan materiales continuamente al biodigestor y el efluente se descarga en forma simultánea en la misma cantidad en que entra el material. De esta manera, la fermentación en el biodigestor es un proceso interrumpido. El proceso se caracteriza por una fermentación constante, una producción uniforme de biogás y facilidad de control, y se aplica comúnmente en zonas con materias residuales ricas y biodigestores de mediano y gran tamaño (Olaya y González 2009). En la figura 9 se puede observar el esquema del biodigestor.

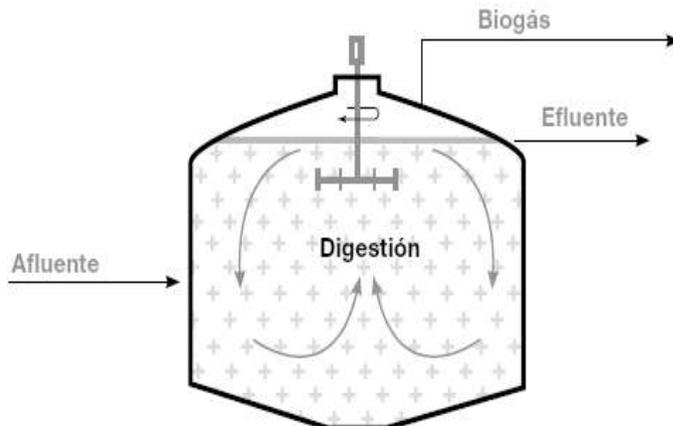


Figura 9. *Esquema biodigestor de flujo continuo.*

Fuente. (Olaya y González, 2009)

#### 4.2.7.1.3. Biodigestores de Segunda Generación

Los biodigestores de segunda generación son aquellos que operan principalmente en dos niveles, es decir se divide en dos cámaras, una de ellas a un nivel inferior del resto del biodigestor. Utiliza compartimentos en ferrocemento o mampostería, espaciados

adecuadamente para retener los materiales y las partículas sólidas grandes, pero permite el paso del gas y los líquidos. (Téllez, 2008). En esta clasificación se encuentran:

#### 4.2.7.1.3.1. Biodigestor de contacto anaeróbico

En estos biodigestores la pileta de sedimentación a la salida de los mismos le da la posibilidad a las bacterias que han salido con el efluente a asentarse y decantar para luego ser reintroducidas en forma de lodo, mezclado con material de carga orgánica como inoculo (Téllez, 2008). En la figura 10 se muestra el esquema.

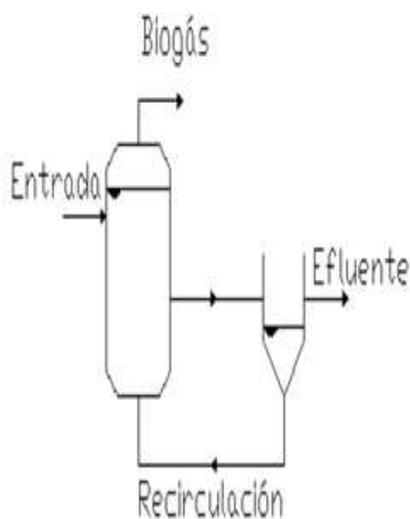


Figura 10. *Esquema biodigestor de contacto anaeróbico.*

Fuente. (Téllez, 2008)

#### 4.2.7.1.3.2. Biodigestor UASB

El biodigestor de flujo ascendente con manto de lodo (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), se caracteriza por retener la carga orgánica sin un medio de soporte, gracias a

la formación de gránulos y su sedimentación, por lo que se debe mantener la recirculación al mínimo (Téllez, 2008), tal como se observa en la figura 11.

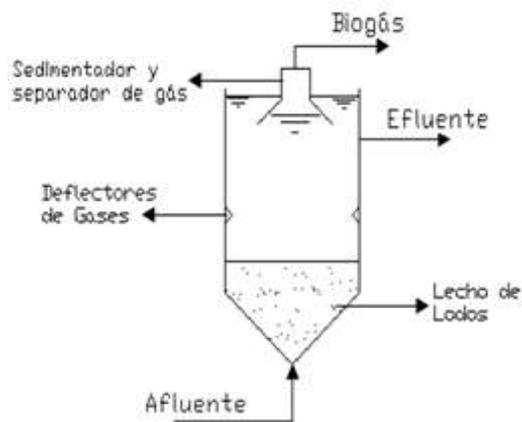


Figura 11. *Esquema biodigestor UASB.*

Fuente. (Téllez, 2008)

#### 4.2.7.1.3.3. Filtro RALF

Este filtro consiste en pasar la carga orgánica antes del biodigestor a través de un lecho de materiales inertes, también conocidos como material de soporte (piedra, medio plástico, cerámica, etc.), promoviendo el crecimiento de microorganismos productores de biogás:

- Como un biopelícula adherida al material de soporte.
- Como biomasa dispersa atrapada en los intersticios del material de soporte.
- Como flóculos o gránulos retenidos en el fondo falso del filtro (Téllez, 2008).

De acuerdo al tipo de alimentación, los RALF pueden ser de flujo: a) ascendente, b) descendente o c) longitudinal. En la figura 12 se muestra el esquema de este biodigestor.

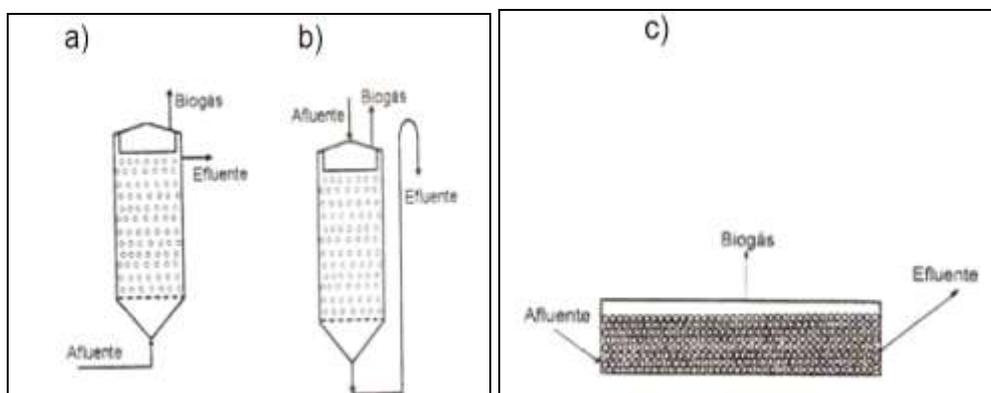


Figura 12. Esquema de los RALF según el tipo de flujo.

Fuente. (Téllez, 2008)

Estos filtros proporcionan diversos beneficios como capacidad de trabajo eficiente a altas cargas orgánicas, elevada capacidad para aceptar cambios repentinos de carga orgánica, trabajar de manera eficiente a pH relativamente bajo y en presencia de sustancias tóxicas (Téllez, 2008).

Con esta primera etapa de filtro anaeróbico se asegura que todo el lodo de descarga en la segunda etapa (biodigestor) va a estar en algún grado digerido (Téllez, 2008)

#### 4.2.7.2. Componentes del biodigestor

Los componentes varían en función del tipo de cada biodigestor, básicamente se componen de 5 partes fundamentales, estas son tanques de carga y descarga, agitador (aplica para algunos biodigestores, como el de flujo continuo), reservorio de gas y finalmente el biodigestor (Bolívar y Hernández, 2012).

A continuación se presenta una breve descripción de los diferentes componentes que tienen generalmente cualquier tipo de biodigestor:

- **Tanque de carga o recolección:**

Su función principal es el almacenamiento de la materia orgánica a cargar en el biodigestor (Bolívar y Hernández, 2012).

- **Agitador:**

Es un elemento importante para los biodigestores de carga por lotes y algunos semicontinuo, debido a que se debe mantener la homogeneidad de la materia orgánica (Bolívar y Hernández, 2012).

- **Biodigestor:**

El biodigestor es el recinto donde se coloca la materia orgánica junto con el líquido utilizado para la dilución, tal como se observa en la figura 13. Puede construirse de mampostería, plástico, fibra de vidrio, fibrocemento, etc. Si se construyen con tanques, es probable que sean verticales; mientras que si la construcción es con silo bolsa, adoptarán la forma horizontal (Bolívar y Hernández, 2012).

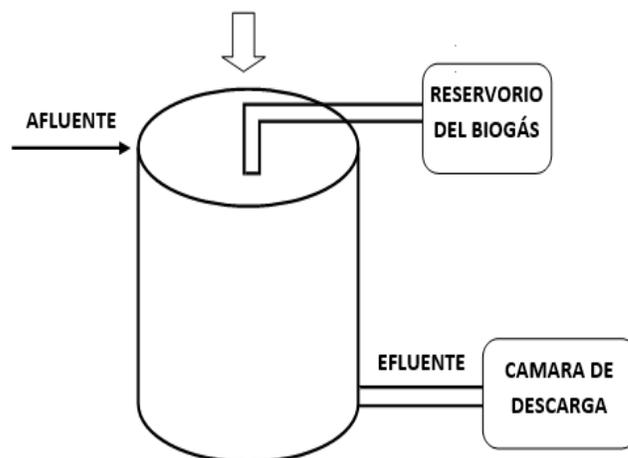


Figura 13. *Biodigestor*

Fuente. Los Autores

Existen diversas formas de dimensionar el volumen del biodigestor. Las más utilizadas son el tiempo de retención y la carga orgánica. Lo importante es que las dimensiones del mismo permitan el almacenamiento del volumen total de la carga orgánica agregada al biodigestor. En el biodigestor ocurre el proceso de digestión anaeróbica de la materia orgánica en un tiempo de retención y a unas condiciones específicas de funcionamiento; el correcto manejo, cargue y funcionamiento garantiza la mejor productividad del sistema (Bolívar y Hernández, 2012).

- **Cámara de descarga o de efluente:**

Su función es el almacenamiento de la mezcla digerida para su posterior aplicación como material de abono orgánico (Bolívar y Hernández, 2012), tal como se observa en la figura 14.

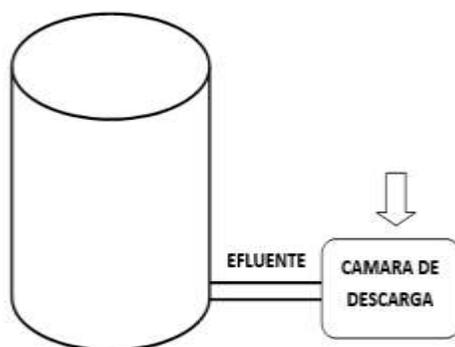


Figura 14. *Cámara de descarga*

Fuente. Los Autores

- **Reservorio del biogás:**

Básicamente tiene la función de almacenar el biogás generado en la digestión anaeróbica. Idealmente el reservorio debería ser el mismo espacio libre entre el volumen del biodigestor y la carga orgánica, pero los reservorios aportan una capacidad adicional al proceso ya sea por eficiencia de generación o por no consumo de biogás (Bolívar y Hernández, 2012). En la figura 15 se observa el esquema.

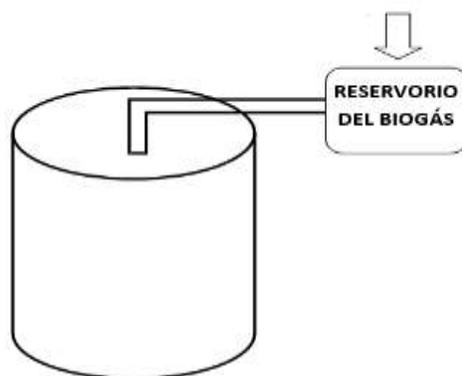


Figura 15. *Reservorio del Biogás*

Fuente. Los Autores

## 5. DISEÑO METODOLÓGICO

### 5.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación empleada en este proyecto es de tipo aplicada. La cual consiste en el estudio y aplicación de la investigación a problemas de la vida cotidiana en circunstancias y características concretas. Esta forma de investigación se dirige a su aplicación a mediano o largo plazo y no al desarrollo de teorías (Salkind, 1999).

En cuanto a sus instancias de desarrollo, la investigación aplicada sigue una estructura general. Debido a su misma naturaleza, el concepto de "problema de investigación" es diferente. Mientras en los otros enfoques de investigaciones el problema es de orden cognitivo, en ellas es de orden práctico, ya que se trata de una situación dada o deficitaria que puede ser mejorada. No obstante, la investigación aplicada se encuentra estrechamente vinculada con la investigación básica, pues depende de los principios científicos de esta última para su ejecución. Esto queda aclarado cuando se comprende que la investigación aplicada, al igual que en otros enfoques, requiere de un marco teórico, que, en este caso, significa la selección de una teoría que se expone en sus conceptos centrales y sus rasgos contextuales acordes a la situación problema identificada (Salkind, 1999).

La investigación aplicada tiene como finalidad la búsqueda y consolidación del saber, la aplicación de los conocimientos para el enriquecimiento cultural, y científico, así como para la producción (Salkind, 1999).

## **5.2.Población de estudio y muestra**

La población de estudio de la investigación es el municipio y ciénaga de Sabanagrande ubicado en el departamento de Atlántico (Colombia).

Se tuvieron en cuenta a los pobladores que habitan en los alrededores de la Ciénaga debido a que son los directamente afectados por la propagación de la taruya. Por consiguiente se realizaron 34 encuestas al azar con el fin de recopilar información correspondiente al conocimiento de la taruya, métodos de control, afectaciones, entre otras. (Ver anexo 1 Formato de encuesta).

### **5.2.1. Municipio Sabanagrande**

El Municipio de Sabanagrande se encuentra localizado en la región centro oriental del Departamento del Atlántico a 20 kilómetros de su Distrito Capital Barranquilla.

El área de extensión del Municipio de Sabanagrande es de 43 Km<sup>2</sup>, que representan el 1,26 % de la superficie del Departamento del Atlántico; presenta una temperatura promedio de 28°C y se encuentra a una altura sobre el nivel del mar de 9 metros. La cabecera municipal de Sabanagrande se localiza en las coordenadas geográficas 10° 38' de latitud norte y 74° 55' de Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich, al norte de

Colombia y al noroeste del departamento del Atlántico (Alcaldía de Sabanagrande - Atlántico, 2016).

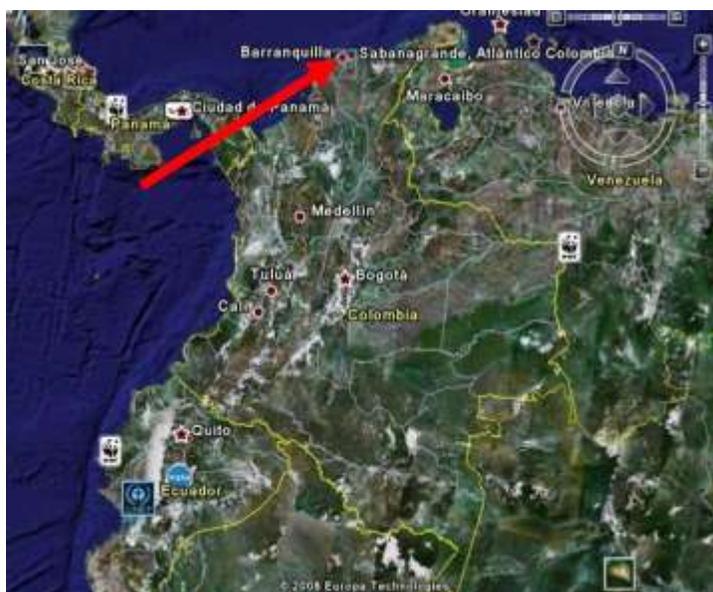


Figura 16. *Ubicación geográfica del municipio de Sabanagrande – Colombia*

Fuente. Google Earth

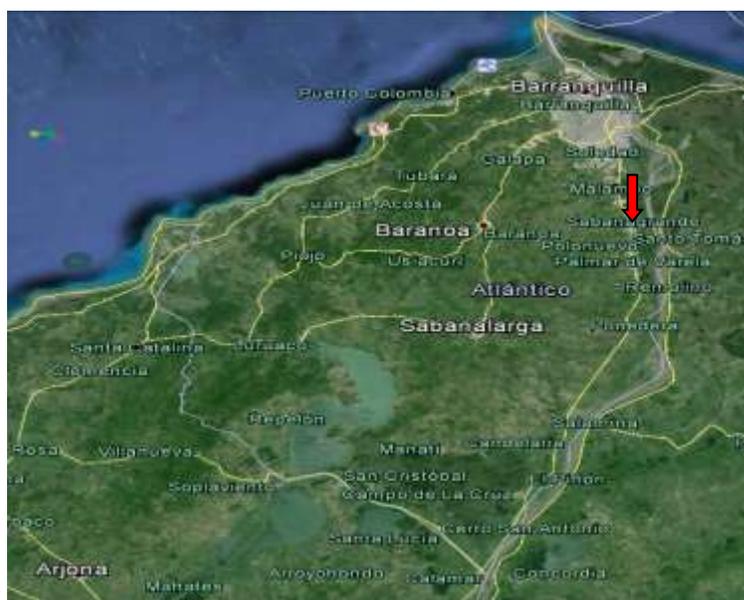


Figura 17. *Ubicación geográfica del municipio de Sabanagrande – Atlántico*

Fuente. Google Earth



### 5.2.2.2. Hidrodinámica

La Ciénaga de Sabanagrande se retroalimenta principalmente cuando el Río Magdalena empieza a ascender y por el llenado de la ciénaga menor de Guartinaja, con la cual están fusionadas por un canal interceptor, que en épocas de alto nivel conforman un solo cuerpo de agua, se establece un flujo de entrada desde el Río por sus mayores niveles a través de las bocas, que en este caso están en el extremo aguas arriba de la ciénaga. Hoy día el ingreso del agua se regula a través de la compuerta y el boxcoulvert implementados en las bocas naturales (Corporación Autónoma Regional del Atlántico, 2007).

### 5.2.2.3. Flora

La vegetación terrestre al entorno de la ciénaga de Sabanagrande, es sustentada en una vegetación de rastrojo bajo, donde resulta muy raro encontrar árboles de gran contextura, por la tala indiscriminada en el sector. Las especies que prevalecen en el área de influencia de la ciénaga de Sabanagrande son: Uvito (*Cavendishia pubescens*), Bajagua (*Hibiscus elatus*), Trupillo (*Prosopis juliflora*), Almendro (*Prunus dulcis*), Matarratón (*Gliricidia sepium*), Campano (*Samanea saman*), Guásimo (*Guazuma ulmifolia*), Totumo (*Crescentia cujete*), Higuera (*Ricinus communis*), Dormidera (*Mimosa Púdica*) y Anamú (*Petiveria alliacea*). (Corporación Autónoma Regional del Atlántico, 2007)

#### 5.2.2.4. Fauna

En la ciénaga de Sabanagrande, la pesca es de subsistencia. Las especies más importantes que se reportan en este cuerpo de agua son las siguientes: Macabí (*Albula vulpes*), Raya de río (*Potamotrygon*), Bagre rayado (*Pseudoplatystoma fasciatum*), Cuatro ojos (*Anableps anableps*), Cucho (*Glyptoperichthys gibbiceps*), Bocachico (*Prochilodus magdalenae*), Mojarra (*Diplodus annularis*) y Moncholo (*Hoplias malabaricus*). (Corporación Autónoma Regional del Atlántico, 2007)

En esta ciénaga, por estar cerca al centro poblado, hay una alta presión sobre las especies de ornitofauna, hasta el punto que hay especies nativas que se han extinguido y a las migratorias ya no utilizan el cuerpo de agua como refugio temporal (Corporación Autónoma Regional del Atlántico, 2007).

Las especies de ornitofauna que se encuentran son: Barraquete aliazul (*Anas discors Linnaeus*), Pato Aguja (*Anhinga anhinga*), Garza ceniza (*Ardea herodias*), Garza blanca (*Ardea Alba*), Carricarri (*Caracara plancus*), Perdiz de monte (*Crypturellus obsoletus*), Golero (*Coragyps atratus*), Codorniz (*Coturnix coturnix*), Tierrelita (*Columbina talpacoti*), Chorlito (*Pluvialis apricaria*), Torcaza (*Zenaida auriculata*), Golondrina de agua (*Hirundo rustica*). (Corporación Autónoma Regional del Atlántico, 2007).

Las especies de mamíferos silvestres al entorno de esta ciénaga son: Zorro Chucho (*Didelphis marsupialis*), Murciélago (*Pipistrellus pipistrellus*), Conejo de monte

(*Oryctolagus Cuniculus*), y Ardilla enana (*Microsciurus*). (Corporación Autónoma Regional del Atlántico, 2007)

Las especies de mamíferos silvestres al entorno de esta ciénaga son: Zorro Chucho (*Didelphis marsupialis*), Murciélago (*Pipistrellus pipistrellus*), Conejo de monte (*Oryctolagus cuniculus*), y Ardilla enana (*Microsciurus*). (Corporación Autónoma Regional del Atlántico, 2007).

### **5.2.3. Tipo de muestreo**

El tipo de muestreo es aleatorio simple, el cual consiste en un procedimiento de selección basado en la libre actuación del azar. Es el procedimiento de muestreo más elemental y es referencia de los demás tipos de diseño (Casal y Mateu, 2011).

El procedimiento de selección de los elementos se realiza en forma independiente y sucesiva. Se trata de muestreo probabilístico donde todos los elementos tienen la misma probabilidad de ser seleccionadas (Casal y Mateu, 2011).

Este tipo de muestreo se aplicó para la recolección de las muestras de taruya y a la población en estudio para la realización de las encuestas.

## **5.2.4. Desarrollo experimental**

### **5.2.4.1. Selección del biodigestor**

El biodigestor seleccionado para el desarrollo experimental fue el de tipo Batch o discontinuo debido a que se realizó la carga orgánica al biodigestor una sola vez con el material a digerir al inicio del proceso y la descarga del efluente se realizó al finalizar el mismo. Además, no se efectuó agitación alguna en el sistema debido a la clase de biodigestor que se implementó.

La ventaja de este biodigestor es su fácil acondicionamiento y manipulación, ya que al ser un recipiente de material plástico su peso es ligero y su volumen no ocupa mayor espacio.

### **5.2.4.2. Construcción del Biodigestor**

Para la elaboración del abono orgánico se procedió a la construcción del biodigestor, el cual fue de material plástico, de forma cilíndrica con una tapa plástica que sella herméticamente el biodigestor para prevenir el ingreso de oxígeno al interior. La capacidad del biodigestor empleado fue de  $0,06 \text{ m}^3$ . Para la construcción del biodigestor se tuvo en cuenta lo siguiente:

#### **5.2.4.2.1. Materiales para la construcción**

- 2 Tanque de plástico de  $0,01 \text{ m}^3$  y  $0,06 \text{ m}^3$
- 2 Llaves nariz de  $\frac{1}{2}$  '' roscable para manguera

- 2 Acoples de  $\frac{1}{2}$ " x  $\frac{1}{2}$ " 50 cm plástico

#### 5.2.4.2.2. Procedimiento

Para la construcción del biodigestor se instalaron dos válvulas una para la conducción del biogás hasta su reservorio y otra para la salida del efluente, para así prevenir cualquier tipo de fuga que pueda interrumpir el proceso en el sistema. Por lo cual se procedió a tomar la tapa del biodigestor y se le hizo una perforación para colocar la primera válvula en el centro de la tapa del mismo con su respectiva manguera de conducción del gas al tanque de reservorio.



Figura 19. *Perforación*

Fuente. Los Autores.



Figura 20. *Válvulas*

Fuente. Los Autores.

- Luego se perforo la parte inferior del tanque y se le coloco la otra válvula para la descarga del efluente.
- Se realizó la conexión de un tanque hermético al biodigestor para el almacenamiento del biogás.



Figura 21. *Tanque de almacenamiento del Biogás*

Fuente. Los Autores.



Figura 22. *Biodigestor*.

Fuente. Los Autores.

### **5.2.4.3. Cálculo de los parámetros de operación del biodigestor**

Para el cálculo de los parámetros de operación del biodigestor, se requiere determinar principalmente lo siguiente (Olaya y González, 2009):

#### **5.2.4.3.1. Volumen**

El volumen del biodigestor empleado fue de  $0,06 \text{ m}^3$ .

#### **5.2.4.3.2. Carga orgánica**

Es indispensable determinar la carga orgánica que se dispondrá en el biodigestor. Por lo tanto la carga orgánica ingresada fue de  $0,025 \text{ m}^3/\text{mes}$ , y este se cargó una sola vez.

#### **5.2.4.3.3. Tiempo de retención**

El tiempo de retención es el periodo de tiempo que debe permanecer la materia orgánica en el biodigestor, el cual fue calculado de la siguiente forma:

$$Tr = \frac{VNB}{C} = \frac{0,06 \text{ m}^3}{0,025 \text{ m}^3/\text{mes}} = 2,4 \text{ meses}$$

Donde:

Tr = Tiempo de retención (meses).

VNB = Volumen neto del biodigestor ( $\text{m}^3$ ).

C = Carga orgánica ( $\text{m}^3/\text{mes}$ ).

#### **5.2.4.4. Selección y recolección de las muestras**

Se realizaron visitas de campo a la Ciénaga de Sabanagrande con el fin de realizar la recolección de las muestras de la taruya. La selección de las muestra fueron aleatorias y la recolección fue manual. Luego se empacaron en bolsas de plásticos para su posterior traslado al laboratorio de química de la Universidad de la Costa – CUC.

#### **5.2.4.5. Operación del biodigestor**

##### **5.2.4.5.1. Preparación de las muestras**

Se preparó el material orgánico para cargar el biodigestor, lo cual consistió en tomar las muestras de taruya y triturarlas de forma manual hasta un tamaño de menor proporción. Una vez triturado el material se procede a mezclarlo con agua, hasta lograr la homogenización completa de la mezcla.



Figura 23. *Preparación*

Fuente. Los Autores



Figura 24. *Muestras de taruya triturada.*

Fuente. Los Autores

#### **5.2.4.5.2. Llenado del biodigestor**

Una vez preparada la muestra, se procedió al llenar el biodigestor hasta un 70%, dejando un espacio libre debido a la producción de biogás.



Figura 25. *Llenado*

Fuente. Los Autores

#### **5.2.4.5.3. Ubicación del biodigestor**

Llenado el biodigestor se procedió a ubicarlo en el laboratorio de química de la Universidad de la Costa – CUC, para la posterior caracterización de los parámetros del abono orgánico una vez culminado el tiempo de retención determinado previamente.

#### **5.2.4.6. Determinación de las condiciones de producción del abono**

##### **5.2.4.6.1. Determinación del pH:**

Se llevó a cabo la determinación del pH en periodos de 7 días. Se utilizó un pHmetro digital.

##### **5.2.4.6.2. Determinación de la temperatura:**

Se realizaron mediciones de la temperatura en periodos de 7 días. El equipo utilizado fue un termómetro.

#### **5.2.4.6.3. Seguimiento del tiempo de retención:**

Se realizó el seguimiento del tiempo de retención del biodigestor con el fin de evitar la putrefacción de las muestras.

#### **5.2.4.7. Parámetros fisicoquímicos a analizar a partir de la norma NTC 5167**

La NTC 5167 de 2011 tiene por objeto establecer los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y como enmiendas de suelo. A continuación se describe los métodos empleados para la caracterización de cada parámetro:

- **Carbono Orgánico Total:**

Método Walkley - Black: consiste en la oxidación de la muestra con dicromato de potasio y ácido sulfúrico. En este proceso se produce una reducción del dicromato, equivalente al contenido de Carbono que es oxidado. El dicromato residual es luego titulado con sulfato ferroso.

- **Fosforo Total:**

Método Bray y Kurtz: utiliza como medio de extracción del fósforo, una solución de fluoruro de amonio en ácido clorhídrico diluido; debido a la presencia de fluoruro de amonio en la disolución ácida se da la formación de iones trivalentes de hierro y aluminio, con la consecuente liberación del fósforo. Una vez extraído el fósforo, éste es cuantificado colorimétricamente por medio de la reacción del azul de molibdeno en la

cual la tonalidad azul es obtenida del producto de reducción del ácido molibdofosfórico, mediante cloruro estannoso en medio acidificado con ácido clorhídrico.

- **Nitrógeno Total:**

Método Kjeldahl: Consiste en reducir los nitratos y nitritos a amoníaco mediante la aleación desvarada; a su vez convertir el nitrógeno presente en el fertilizante en sulfato de amonio por digestión con ácido sulfúrico concentrado en presencia de un catalizador. El amonio formado se libera por adición de hidróxido de sodio o de potasio en exceso, y se recoge en ácido sulfúrico o clorhídrico. Se titula el exceso de ácido con solución valorada de hidróxido de sodio o de potasio.

Los parámetros tales como humedad, capacidad de retención de agua, capacidad de intercambio y cenizas no se determinaron debido a que el abono orgánico resultante fue en estado líquido y no sólido.

#### **5.2.4.8. Etapa de mantenimiento**

Las actividades de mantenimiento del biodigestor fueron:

- Inspecciones periódicas del estado de la cubierta, buscando detectar fugas, rasgaduras y daños en general.
- Eliminación inmediatamente cualquier acumulación de agua de la cubierta.
- Inspección diaria de válvulas para detectar a tiempo cualquier daño que presenten y en caso de haberlo, instrumentar las acciones necesarias para su inmediata reparación.
- Verificar que la manguera de conducción del biogás no presentara fugas.

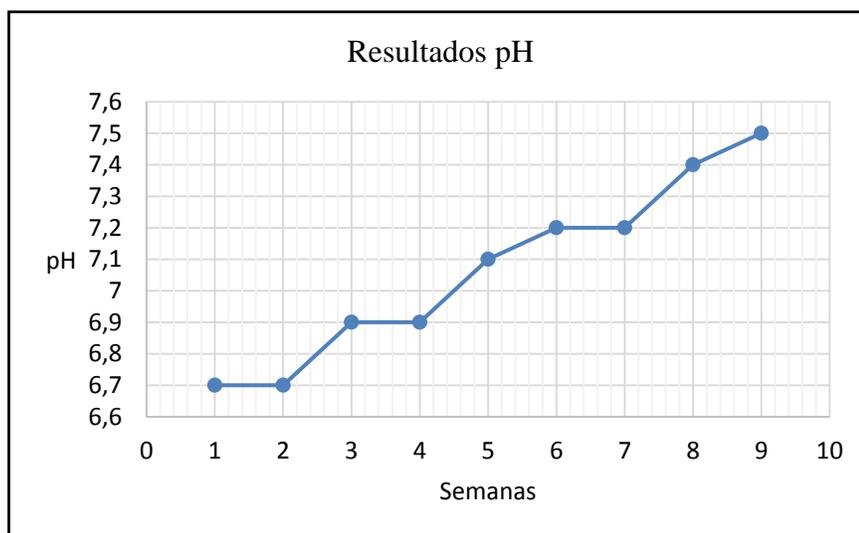
## 6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 6.1. Resultados de laboratorio:

- **Resultados de la producción del abono orgánico:**

Para la producción del abono orgánico líquido se le hizo el seguimiento in situ a 3 factores fisicoquímicos para el proceso de digestión anaerobia, el pH, la temperatura y el tiempo de retención, arrojando los resultados reportados a continuación, los otros parámetros fueron analizados por un laboratorio certificado:

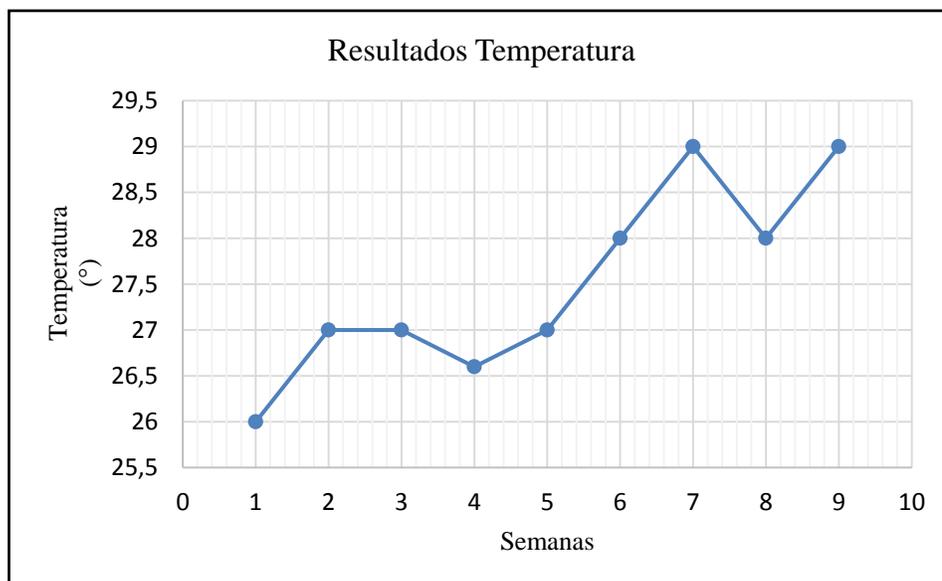
El pH obtenido fue entre 6.7 y 7.5 desde la semana 1 hasta la semana 9 tal como se muestra en la gráfica 1, es decir, que el pH del abono orgánico obtenido está en el rango de 4 a 9 según la NTC 5167 de 2011.



Gráfica 1. *Resultados pH*

Fuente. Los Autores

Los resultados de la temperatura se pueden observar en la gráfica 2, donde los valores estuvieron entre 26 °C y 29° C desde la semana 1 hasta la semana 9. La temperatura está entre el rango establecido de 26°C a 35°C para este tipo de proceso como es la biodigestión anaeróbica según Pascual (2011).



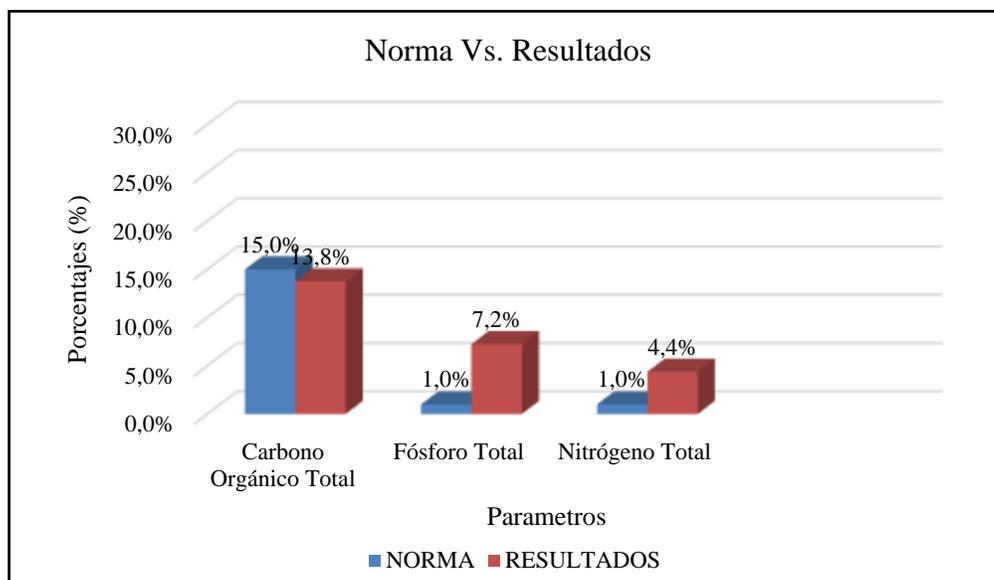
Gráfica 2. *Resultados de la Temperatura*

Fuente. Los Autores

Por otra parte se realizó el respectivo seguimiento al tiempo de retención del proceso, teniendo en cuenta el cálculo realizado previamente con base en el volumen del biodigestor utilizado y la carga orgánica introducida, el cual fue de aproximadamente 2 meses.

- **Comparación de los resultados obtenidos con la norma técnica colombiana NTC 5167 de 2011:**

Los resultados de los parámetros analizados en un laboratorio externo a la CUC, aplicables al abono orgánico líquido obtenido, se muestran en la gráfica 3, donde se compararon con la NTC 5167 de 2011, en la cual se referencia los productos para la industria agrícola (productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo). Para el carbono orgánico total se determinó un valor de 13,8%, mientras que la norma dice un 15%, para el fósforo un valor de 7,2%, la norma señala un mínimo de 1%, y por último para el nitrógeno, se halló un valor de 4,4% contra un 1% mínimo que pide la norma como se observa en la gráfica 3.



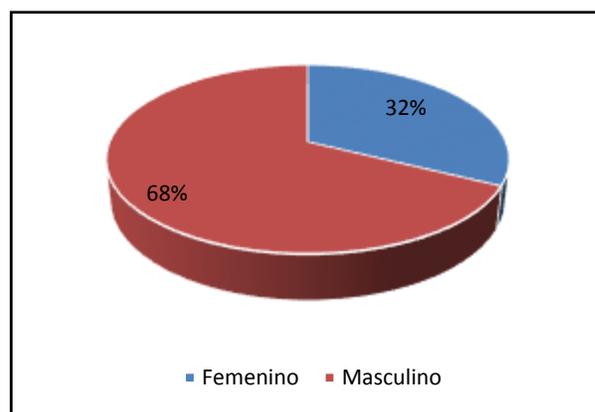
Gráfica 3. *Norma vs. Resultados*

Fuente. Los Autores

## 6.2. Resultados de las encuestas:

Se realizaron encuestas a la población en estudio con el fin de obtener información referente a la afectación por la propagación de la taruya. Las personas encuestadas fueron en total 34, las cuales fueron escogidas al azar y cercanas a la localización de la ciénaga de Sabanagrande. A continuación se presentan los resultados obtenidos:

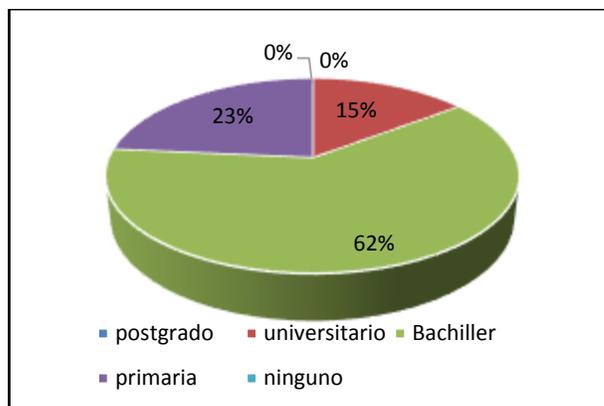
En la gráfica 4 se observa que el 63% de los encuestados son del género femenino y 32% masculino.



Gráfica 4. *Género*

Fuente. Los Autores

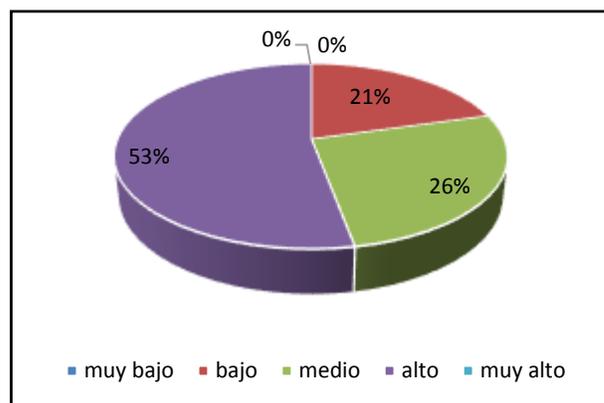
Con respecto al nivel académico de los encuestados, El 62% de los encuestados informan que son bachilleres, el 23% culminaron hasta la primaria y el 15% están en la universidad tal como se muestra en la gráfica 5.



Gráfica 5. *Nivel académico*

Fuente. Los Autores

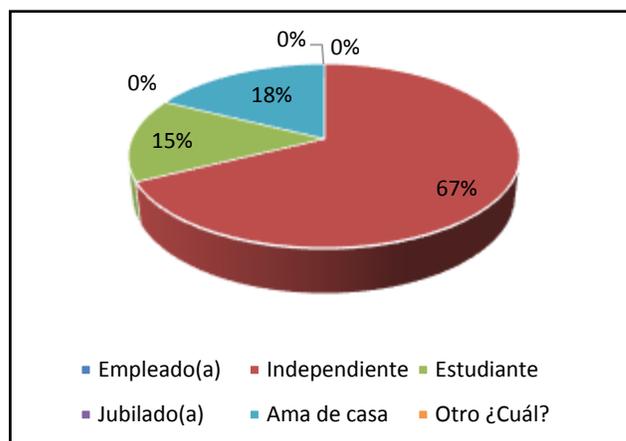
Por otra parte el 53% de los encuestados informan tener un nivel alto de interés en temas de medio ambiente y conservación de recursos naturales, seguido del 26% con un nivel medio y un 21% con un nivel bajo como se puede observar en la gráfica 6.



Gráfica 6. *Interés en temas de medio ambiente y conservación de recursos naturales*

Fuente. Los Autores

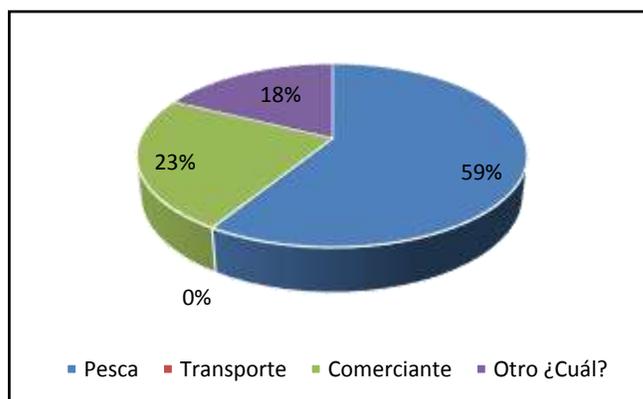
La ocupación actual de los encuestados tal como se aprecia en la gráfica 7, está representada por un 67% en trabajos que son independientes, 15% están estudiando y el 18% son amas de casa.



Gráfica 7. *Ocupación actual*

Fuente. Los Autores

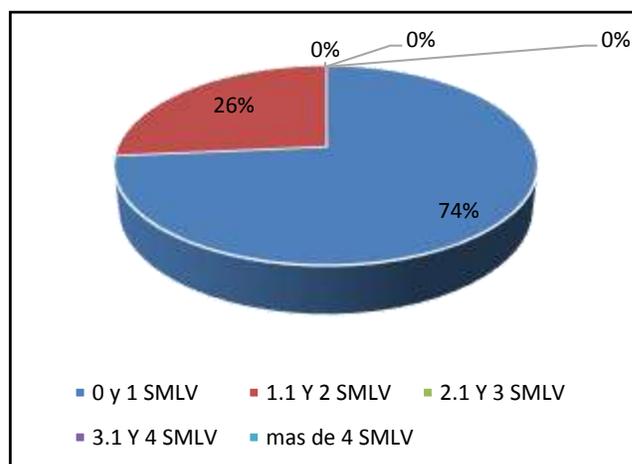
En la gráfica 8 se observa que el 59% de los encuestados tienen como actividad económica la pesca, el 23% son comerciantes y el 18% se dedican a otras actividades en general.



Gráfica 8. *Actividad económica*

Fuente. Los Autores

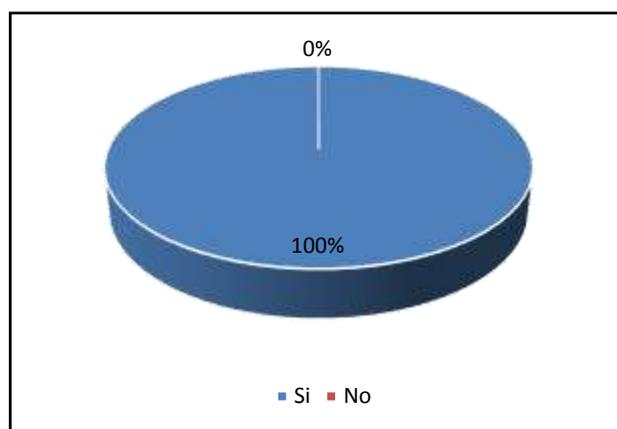
El 74% de los encuestados tienen ingresos mensual de 1 SMLV y el 26% entre 1.1 y 2 SMLV como se muestra en la gráfica 9.



Gráfica 9. *Rango de ingreso mensual*

Fuente. Los Autores

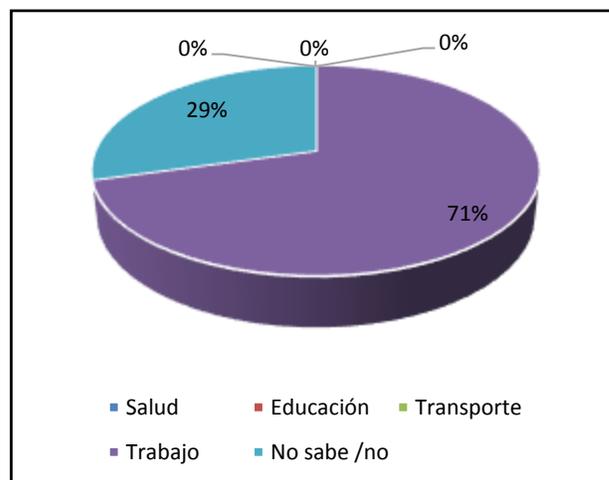
Con respecto al conocimiento de la taruya, el 100% de los encuestados dicen que si como se muestra en la gráfica 10.



Gráfica 10. *¿Conoce usted la planta "Eichhornia crassipes" Taruya, Bora, Buchón, Jacinto de Agua?*

Fuente. Los Autores

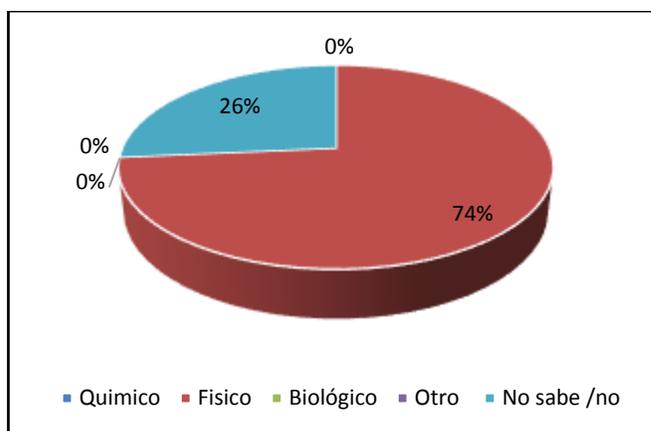
La gráfica 11 muestra que el 71% de los encuestados se ha visto afectado por la propagación de la *Eichhornia crassipes* Taruya, Bora, Buchón, Jacinto de Agua en los cuerpos de agua en la realización de sus actividades cotidianas como la pesca y la navegación y el 29% informan no tener conocimiento.



Gráfica 11. *¿De qué forma se ha visto afectado por la propagación de la Eichhornia crassipes Taruya, Bora, Buchón, Jacinto de Agua en los cuerpos de agua en la realización de sus actividades cotidianas?*

Fuente. Los Autores

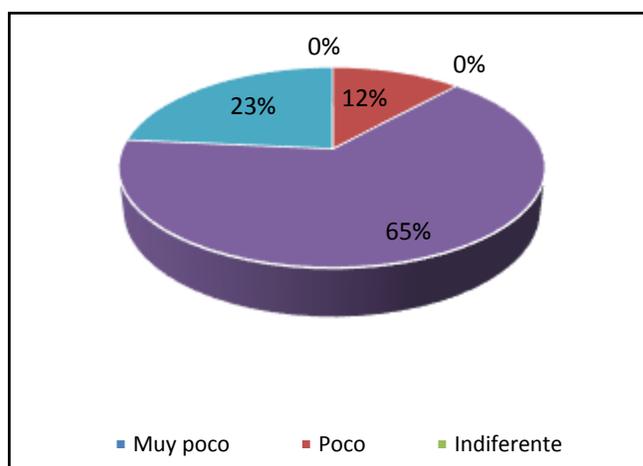
El 74% de los encuestados conocen el método físico como mecanismo de erradicación y el 26 % informan no tener conocimiento, como se observa en la gráfica 12.



Gráfica 12. *¿Qué métodos de erradicación conoce para minimizar esta problemática?*

Fuente. Los Autores

El 65% de los encuestados están muy interesados en la implementación de una solución definitiva a la problemática de la taruya, seguido de un 23% de interesados y 12% de poco interesado, tal como se detalla en la gráfica 13.



Gráfica 13. *¿Le gustaría que se implementara una solución definitiva para esta problemática?*

Fuente. Los Autores

## 7. CONCLUSIONES

Se determinaron las condiciones de operación del biodigestor escogido, en la producción del abono orgánico líquido a partir de la *Eichhornia crassipes*, obteniendo un producto de buena calidad según la NTC 5167. Las condiciones fueron: pH entre 6 y 8, temperatura entre 25 y 29°C y tiempo de retención de aproximadamente 2 meses.

Los resultados obtenidos para los parámetros fisicoquímicos seleccionados, nos permiten afirmar que el producto de la digestión anaerobia de la *Eichhornia crassipes* se puede considerar como un abono orgánico líquido, ya que cumple con los requerimientos de la norma NTC 5167 que aplica a este tipo de productos, pudiendo por lo tanto ser utilizado en suelos.

Con respecto a las encuestas, el 71% de los encuestados se han visto afectados por la propagación de la Taruya en la ciénaga de Sabanagrande lo cual se ve reflejado en la realización de sus actividades cotidianas, tales como a nivel económico debido a que el comercio de peces es la principal fuente de ingresos de esta comunidad. Además se determinó la viabilidad del uso de la Taruya para la obtención de abono orgánico y así minimizar la propagación de esta planta en los cuerpos de aguas y sus afectaciones ambientales y económicas.

## 8. RECOMENDACIONES

Realizar pruebas pilotos para la aplicación del abono orgánico líquido obtenido en plantaciones de control.

Proponer un proyecto ante la comunidad del municipio de Sabanagrande, para la implementación de la obtención del abono líquido a partir de la taruya, como estrategia para la minimización de la problemática de propagación que esta planta representa, utilizando el biodigestor propuesto, dado que es económico y de fácil construcción.

Para la puesta en marcha del biodigestor es importante tener en cuenta las condiciones del lugar para la ubicación del mismo con el fin de prevenir accidentes e interrupciones del proceso de biodigestión anaeróbica.

Realizar muestreos periódicos preferiblemente semanales de los parámetros de operación del biodigestor, especialmente del pH y de la temperatura para verificar que el proceso de digestión anaeróbica se esté llevando a cabo según lo requerido para este tipo de estudios.

Recolectar muestras de Taruya de diferentes cuerpos de agua con el fin de validar la posibilidad de obtener un producto (abono líquido) con características semejantes o mejores, en función de su ubicación geográfica.

Para la obtención del abono orgánico a corto plazo se recomienda realizar investigaciones con el fin de identificar posibles productos que se puedan aplicar al proceso de digestión anaeróbica y así acelerar el mismo.

## REFERENCIAS

- Acosta, L., y Obaya, A. (2005). *La digestión anaérobica*. La Habana, Cuba.
- Asociación de Corporaciones Autónomas Regional y de Desarrollo Sostenible. (2011). *Fortalecimiento de asociaciones comunitarias de transformación de la taruya para el incremento de la productividad de los municipios del complejo cenagosa de la zapatosa*. Chimichagua, Colombia.
- Atehortua, E. (2013). *Estudios preliminares de la biomasa seca de Eichhornia Crassipes como adsorbente de contaminantes*. (Tesis de pregrado). Universidad de Antioquia, Antioquia, Colombia.
- Benítez, R., Calero, V., Peña, E., y Martín, J. (2011). *Evaluación cinética de la acumulación de cromo en el buchón de agua "Eichhornia crassipes"* (Tesis de pregrado). Universidad del Cauca, Cauca, Colombia.
- Bolívar, H., y Ramírez, E. (2012). *Propuesta para el diseño de un biodigestor para el aprovechamiento de la materia orgánica generada en los frigoríficos de Bogotá* (Tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José De Caldas, Bogotá, Colombia.
- Cabrera, G., Briano, J., y Enrique, A. (2002). *El control biológico de las plagas*. Buenos Aires, Argentina.
- Cajamarca, V. (2012). *Procedimientos para la elaboración de abonos* (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Carrión, C., Ponce, C., y Somer, I. (2012). *Aprovechamiento potencial del lirio acuático (Eichhornia crassipes) para fitorremediación de metales* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, Copilco El Bajo, México.
- Casal, J., y Mateu, E. (2011). *Tipos de muestreo*. Universidad Autónoma de Barcelona, Barcecola, España.
- Castillo, N. (2013). *Valores agregados de la biodigestión anaerobia del jacinto de agua* (Tesis de Maestría). Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.
- Comisión para la cooperación ambiental. (2008). *El mosaico de América del Norte: panorama de los problemas ambientales más relevantes*. Montréal, Canadá.
- Corporación Autónoma Regional del Atlántico. (2007). *Documentación del estado de las cuencas hidrográficas en el departamento del Atlántico*. Atlántico, Colombia.

- Empresa pública de Medellín E.S.P. (2010). *Manejo de plantas acuáticas invasoras en embalses de epm: Caso buchón de agua (Eichhornia crassipes) en el embalse corse II*. Antioquia, Colombia. Revista epm.
- Gutiérrez, E., Arreguín, F., Huero, R., y Saldaña, P. (2000). *Control de malezas acuáticas en México*. Instituto Mexicano de tecnología del agua, Jalisco, Mexico.
- López, J. (2012). *Aprovechamiento del lechuguín (Eichhornia Crassipes) para la generación de abono orgánico mediante la utilización de tres diseños diferentes de Biodigestores* (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.
- Lowe, S., Browe, M., y De Poorter, M. (2004). 100 de las especies exóticas invasoras más dañinas del mundo: Una selección del Global Invasive Species Database.
- Macay, L. (2014). *Comportamiento agronomico del cultivo de cebolla de rama (Allium fistulosum L) con diferentes abonos organicos* (tesis de pregrado). Universidad técnica estatal de Quevedo, Quevedo, Ecuador.
- Marbeuf. (2002). *Los fertilizantes y su uso*. Roma, Italia.
- Mendoza, R., y Koleff, P. (2014). *Especies acuáticas invasoras en México*. Comisión nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad, México.
- Ministerio de Agricultura, pesca y alimentación. (2010). *Plantas Invasoras*. Madrid, España.
- Olaya, A., y González, O. (2009). *Fundamentos para el diseño de biodigestores*. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, Palmira, Colombia.
- Ortega, M. (2006). *Proceso de digestión anaeróbica*. Florida, Estados Unidos.
- Pascual, F. (2011). *Rediseño y ensayo de un biodigestor en la granja experimental de la universidad autónoma Chapingo* (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Mexico.
- Pazmiño, J. (2015). *Ensayos Operativos en un biodigestor tipo batch alimentado por RSU producidos en el DMQ 2015* (Tesis de pregrado). Universidad Internacional SEK, Quito, Ecuador.
- Pérez, A. (2010). *Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en pequeños ganaderos y lecheros* (Tesis de pregrado). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- Reyes, L. (2011). *Biodigestores*. Lima, Peru.

- Robles, W. (2009). Jacinto de agua "Eichhornia Crassipes". Mayaguez, Puerto Rico.
- Alcaldía de Sabanagrande - Atlántico. (2016). Sitio web del municipio Sabanagrande en Atlántico. [online] Recuperado de <http://www.sabanagrande-atlantico.gov.co> [Acceso 14 Sep. 2016].
- Samayoa, S., Bueso, C., y Viquez, J. (2012). Implementación de sistemas de biodigestión en ecoempresas. Tegucigalpa, Honduras.
- Salkind, N. (1999). *Métodos de investigación*. México.
- Sánchez, M. (2011). *Evaluación de tres abonos orgánicos en diferente dosis de aplicación en el rendimiento del cultivo de rosa (Rosa sp) freedom* (Tesis de pregrado). Escuela de ingeniería agronómica, Riobamba, Ecuador.
- Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación (2012). *Abonos orgánicos*. Sagarpa, Mexico.
- Téllez, C. (2008). *Diseño y selección de elementos para una planta de Biogas* (Tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia.
- Varnero Romero, M. T. (2011). *Manual de Biogás*. Santiago de Chile, Chile.

## ANEXOS

## Anexo 1. Formato encuesta

	<b>ENCUESTA</b> <b>PROYECTO DE INVESTIGACION</b> <b>"Obtención de abono orgánico a partir de la digestión anaeróbica de la planta acuática invasora Eichhornia Crassipes a través de un biodigestor"</b>	
	<b>Número de Encuesta:</b>	<b>Nombre Encuestador:</b>
<b>Fecha de Encuesta:</b> Día _____ Mes _____ Año _____		
<b>Municipio:</b>	<b>Lugar:</b>	

### INTENCIÓN

Cordial Saludo,

María Karina Suarez Marengo y Laura Quiroga Quiroz, estudiantes de la Universidad de la Costa – CUC, se encuentran realizando una recopilación de información de la población en estudio (Sabana Grande), elegida para la realización del trabajo de grado "Obtención de abono orgánico a partir de la digestión anaeróbica de la planta acuática invasora Eichhornia Crassipes a través de un biodigestor" para optar al título de Ingeniería Ambiental.

Es importante mencionar que en este ejercicio NO hay respuestas correctas ni incorrectas. La información que usted nos proporcione es completamente confidencial y su uso será estrictamente académico.

Agradecemos de antemano su colaboración.



