

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Diseño de un Biodigestor para el mejoramiento de las
aguas residuales en la parroquia de Tumbaco
ejemplificado en los barrios Tola Chica, Tola Grande y
Santa Rosa**

Proyecto de investigación

Gabriela Estefanía García Galarza

Ingeniería Civil

Trabajo de titulación presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniera Civil

Quito, 23 de mayo de 2016

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍAS

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

Diseño de un Biodigestor para el mejoramiento de las aguas residuales en la parroquia de Tumbaco ejemplificado en los barrios Tola Chica, Tola Grande y Santa Rosa

Gabriela García Galarza

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

Miguel Araque, Ing.

Firma del profesor

Quito, 23 de Mayo de 2016

Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: _____

Nombres y apellidos: Gabriela Estefanía García Galarza

Código: 00101070

Cédula de Identidad: 1717662603

Lugar y fecha: Quito, mayo de 2016

Agradecimientos

Primero Agradezco a Dios por haberme permitido vivir un nuevo día en su hermosa creación, agradezco porque en todos los momentos de mi vida sentí la gracia de Dios presente en mí. Agradezco porque puso un ángel en mi vida que es mi mamá.

Segundo Agradezco a mi Madre Sonia Galarza por honrarle a Dios con su buen comportamiento, por haber sido en mi hogar la representación de padre y madre, le agradezco por ser una señora digna y un ejemplo para todas las mujeres, agradezco por haber estado junto a mí, luchando a mi lado en todos los momentos buenos y malos, le agradezco por haberme llenado de sabios consejos que me han permitido llegar donde estoy, por haberme llenado de principios y valores. Agradezco la compañía incondicional de mi Santa madrecita.

Tercero Agradezco a mi tía Nancy Galarza pues su ayuda económica fue un factor importante en la culminación de esta meta en la Universidad. Su ejemplo de fuerza, valentía y esfuerzo influencia mucho en mi persona.

Cuarto Agradezco a mi Director de tesis Ing. Miguel Araque por haber dirigido mi tesis y haberme llenado de sus conocimientos, agradezco por su paciencia, su disponibilidad de tiempo y por ser una excelente persona con mucha ética profesional.

Quinto Agradezco a todos los profesores que forman parte de la carrera de Ingeniería Civil por brindar sus conocimientos y permitir que año tras año salgan nuevas promociones de ingenieros civiles capaces desempeñarse en cualquier área de la profesión.

RESUMEN

En este proyecto de tesis se realizó el diseño de un biodigestor, el cual permite un tratamiento eficiente de las aguas residuales que provienen de la Parroquia de Tumbaco específicamente en los barrios de Tola Chica, Tola Grande y Santa Rosa, además los residuos que quedan en el biodigestor permite la utilización de abonos orgánicos y bio- fertilizantes en lugar de abonos sintéticos que se usan con frecuencia y el uso excesivo de estos aumentan la contaminación de los recursos naturales más importantes como son: el suelo, aire y agua. En un comienzo es esencial delimitar la zona de estudio en el Mapa Censal de la Parroquia de Tumbaco o en la Carta Topográfica emitida por el IGM. Es importante tener un reconocimiento del lugar es decir los datos generales del lugar como el tipo de suelo predominante, La calidad del agua, el alcantarillado, la precipitación y los cultivos típicos que se dan en la zona como: el aguacate, limón, chirimoya, etc. Un factor muy importante para el avance del proyecto es saber el número de habitantes de los barrios de interés, pues el crecimiento poblacional es de gran influencia en el deterioro de las aguas subterráneas y domesticas que desembocan en las quebradas, ríos y mares aumentando la contaminación ambiental. Además la población futura permite hacer un diseño de biodigestor apto con una vida útil de 20 años. Hoy en día el crecimiento poblacional y la falta de conciencia ecológica aceleran la contaminación del medio ambiente, los ingenieros construyen para satisfacer las necesidades básicas del hombre, sin tomar en cuenta el daño que se está causando a nuestra naturaleza, es por esto que por medio de este documento invito a todos los ingenieros a construir obras civiles ambientales sostenibles que mejoren la calidad del ambiente para que nuestras generaciones futuras habiten en un mundo sin contaminación. Finalmente, existen proyectos en el Ecuador que producen energía renovable como la hidroeléctrica Coca Codo Sinclair, el Relleno Sanitario Pichacay en Cuenca que pretende producir biogás a través de los residuos sólidos de la ciudad, es decir almacenan su biomasa y el biogás que se produce los destruyen en un equipo de combustión interna para producir energía limpia, se estima que obtendrán 2 KW/h, y venderán el Kilovatio en once centavos. En otros países como los Emiratos Árabes consientes que un día se terminara su petróleo, empezaron a construir desde hace algunos años construcciones amigables al medio ambiente utilizando paneles fotovoltaicos que captan la energía solar, aprovechando la energía eólica del viento y la geotérmica del suelo. Existen muchas formas de construir en favor de la naturaleza, estamos a tiempo de empezar un cambio positivo. Para terminar el trabajo presenta una evaluación del impacto ambiental que es cualquier daño que se puede causar al ambiente en la fase de construcción, operación y mantenimiento. Se indican las dimensiones de los biodigestores y un presupuesto referencial que permite ver que tan viable es el proyecto.

ABSTRACT

In this thesis project design of a digester, which allows efficient treatment of wastewater coming from the Parish of Tumbaco specifically in the districts of Tola Chica, Tola Grande and Santa Rosa, plus waste remaining held the digester allows the use of organic fertilizers and bio-fertilizers instead of synthetic fertilizers that are used frequently and overuse of these increase pollution as the most important natural resources are: soil, air and water. At first it is essential to define the study area in the Census Map Tumbaco Parish or the Topographic Letter issued by the IGM. It is important to have a recognition of the place is the general data of the place as the predominant type of soil, water quality, sewage, precipitation and typical crops grown in the area such as avocado, lemon, custard apple, etc. A very important project progress factor is to know the number of inhabitants of the neighborhoods of interest because population growth is of great influence on the deterioration of groundwater and domestic water flowing into streams, rivers and seas increasing pollution environmental. In addition, the future population allows a design suitable digester with a useful life of 20 years. Today, population growth and lack of environmental awareness accelerate environmental pollution, engineers build to meet the basic needs of man, regardless of the damage it is causing to our nature, is why through this document I invite all engineers to build sustainable environmental civil works to improve the quality of the environment for our future generations inhabit a world without pollution. Finally, there are projects in Ecuador that produce renewable energy such as Coca Codo Sinclair, Landfill Pichacay Hydropower in Cuenca that aims to produce biogas through the solid waste of the city, that is stored biomass and biogas produced the destroy a team of internal combustion to produce clean energy, it is expected to get 2 KW / h, and sold in eleven cents per kilowatt. In other countries like sentient Arab Emirates that one day their oil was over, they started to build some years friendly buildings to the environment using photovoltaic panels that capture solar energy, using wind energy from wind and geothermal soil. There are many ways to build in favor of nature; we are in time to start a positive change. Finally the paper presents an assessment of the environmental impact is any damage that may be caused to the environment during construction, operation and maintenance. The dimensions of the digesters and a referential budget that allows you to see how viable is the project indicated.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	10
<i>1.1 Antecedentes.....</i>	<i>11</i>
<i>1.2 Justificación del Proyecto.....</i>	<i>13</i>
<i>1.3 Objetivos.....</i>	<i>14</i>
<i>1.3.1 Objetivo Principal.....</i>	<i>14</i>
<i>1.3.2 Objetivos Específicos.....</i>	<i>14</i>
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	15
<i>2.1 Ubicación del Área de Estudio.....</i>	<i>15</i>
<i>2.2 Límites del Área del Proyecto.....</i>	<i>16</i>
<i>2.3 Demografía.....</i>	<i>17</i>
<i>2.4 Recurso Suelo.....</i>	<i>19</i>
<i>2.4.1 Contaminación del Suelo.....</i>	<i>21</i>
<i>2.5 Recurso Agua.....</i>	<i>23</i>
<i>2.5.1 Contaminación del Agua.....</i>	<i>24</i>
<i>2.5.2 Alcantarillado.....</i>	<i>27</i>
3. AGUAS RESIDUALES Y TRATAMIENTO.....	28
<i>3.1 Concepto de Aguas Residuales.....</i>	<i>28</i>
<i>3.1.1 Contaminantes Orgánicos.....</i>	<i>29</i>
<i>3.1.2 contaminantes Inorgánicos.....</i>	<i>30</i>
<i>3.1.3 Contaminación de las Aguas Superficiales y Subterráneas.....</i>	<i>30</i>
<i>3.2 Parámetros de Calidad.....</i>	<i>31</i>
<i>3.3 Clasificación de las Aguas Residuales.....</i>	<i>35</i>
<i>3.4 Tratamiento de las Aguas Residuales.....</i>	<i>37</i>
<i>3.4.1 Tratamiento Aerobio.....</i>	<i>40</i>
<i>3.4.2 Tratamiento Anaerobio.....</i>	<i>41</i>
4. BIODIGESTORES.....	44
<i>4.1 Factores de Control en el Biodigestor.....</i>	<i>46</i>
<i>4.2 Tipos de Biodigestores.....</i>	<i>49</i>
<i>4.3 Aprovechamiento del Biogás y Residuos En el Biodigestor.....</i>	<i>54</i>

<i>4.3.1 Bio Abono o Biol o Fertilizante Orgánico</i>	55
5. EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL	56
<i>5.1 Leyes Medioambientales</i>	57
<i>5.2 Impactos Ambientales causados por un Biodigestor</i>	58
<i>5.3 Métodos para Realizar la EIA</i>	59
<i>5.3.1 Listas de Chequeo</i>	62
<i>5.4 Matriz de Importancia</i>	63
<i>5.5 Importancia del Impacto</i>	65
<i>5.6 Medidas de Mitigación</i>	70
6. METODOLOGÍA	71
<i>6.1 Densidad Poblacional</i>	74
<i>6.2 Dotación</i>	75
<i>6.3 Caudales de Diseño</i>	76
<i>6.4 Dimensiones del Biodigestor</i>	77
<i>6.5 Producción de Biogás</i>	79
<i>6.6 Estimación del Biol o Bio Fertilizante</i>	84
7. Presupuesto Referencial	87
8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
9 BIBLIOGRAFIA	95
10 ANEXOS	101

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Combinaciones de Suelo en la Parroquia de Tumbaco.....	19
Tabla 2.2 Contaminantes Comunes del Suelo	21
Tabla 2.3 Contaminantes del Agua.	25
Tabla 2.4 Contaminación del Agua en Tumbaco	26
Tabla 3.1 Contaminantes en las Aguas Residuales	28
Tabla 3.2 Tipos de Aguas Residuales	35
Tabla 3.3 Ventajas y desventajas del tratamiento aerobio y anaerobio.....	43
Tabla 4.1 Presenta las ventajas y desventajas de Biodigestores anaerobios.....	45
Tabla 4.2 Composición media del biogás de acuerdo al sustrato utilizado.....	54
Tabla 5.1 Matriz de Leopold para el Biodigestor	61
Tabla 5.2 Lista de chequeo simple del Biodigestor de Estudio	62
Tabla 5.3 Importancia del Impacto	66
Tabla 5.4 Matriz de Importancia de todas las fases.....	68
Tabla 6.1 Población Futura.....	75
Tabla 6.2 Dotación según habitantes.....	75
Tabla 6.3 Caudal de Diseño en las Cuatro Zonas de Estudio	76
Tabla 6.4 Dimensiones de los biodigestores	78
Tabla 6.5 Dimensiones de un Biodigestor en múltiplos de cinco.....	78
Tabla 6.6 Producción de estiércol diario.....	79
Tabla 6.7 Producción de Biogás.....	80
Tabla 6.8 Relación Estiércol/Agua.....	80
Tabla 6.9 Factor de Producción.....	81
Tabla 6.10 Producción de Biogás Diaria.....	81
Tabla 6.11 Equivalencia de 1m ³ de biogás.....	82
Tabla 6.12 Demanda de Biogás.....	82
Tabla 6.13 Consumo de Energía hipotético en un hogar	82
Tabla 6.14 Valores de Estiércol Biodigerido	85
Tabla 6.15 Kg diarios de Estiércol.....	85
Tabla 6.16 Cantidad de Bioabono diario.....	86
Tabla 7.1 Sueldo Unificado de la mano de obra que se va a utilizar en el proyecto.....	87
Tabla 7.2 Salario de Mano de Obra por día.	88
Tabla 7.3 Presupuesto Referencial	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Casa ubicada en el Barrio Tola Chica	15
Figura 2.2 Mapa INEC de la Zona de Estudio.....	16
Figura 2.3 Histograma Intercensal del año 1990-2001-2010 por Sexo en Tumbaco.	17
Figura 2.4 Censo 2001 en los Barrios de Tumbaco	18
Figura 2.5 Censo 2010 en los Barrios de Tumbaco	18
Figura 2.6 Arbol Mandarina Tola Chica	20
Figura 2.7 Arbol Aguacate Tola Grande	20
Figura 2.8 Arbol Tomate arbol Tola Chica	20
Figura 2.9 Arbol durazno Tola Chica	20
Figura 2.10 Río San Pedro	23
Figura 2.11 Canal de Regadío Santa Rosa	23
Figura 4.1 Biodigestor Diseño Hindú	51
Figura 4.2 Biodigestor Diseño Chino	51
Figura 6.1 Esquema Biodigestor.....	73
Figura 6.2 Dimensionamiento de un biodigestor.....	77

1 INTRODUCCION

Hoy en día, el aumento de la población y las actividades del hombre influyen de forma directa en la calidad y cantidad del agua. En muchos países la basura que producen vierte al agua sin ningún tipo de tratamiento afectando los ríos, mares y quebradas (Rosales 2012). Según la ONU 2,2 millones de personas mueren al consumir agua subterránea que se contamina cuando la tierra absorbe pintura, aceite o gasolina. Una manera efectiva de cuidar y preservar de forma eficiente las aguas residuales es por medio de procesos anaerobios utilizando biodigestores. Las aguas residuales de la zona de estudio son domesticas es decir provienen de los residuos humanos, también pueden ser industriales que son “líquidos que provienen de procesos industriales de origen agrícola o pecuario o pluviales que provienen de las aguas de lluvia” (Maldonado, 2016). Estas aguas negras al sumergirlas dentro de un biodigestor en ausencia de oxígeno forman un conjunto de gases con altas concentraciones de metano, dióxido de carbono, hidrogeno sulfuro entre otros, juntos constituyen el biogás que dependiendo de la cantidad que se genere se lo puede utilizar para producir energía limpia, procesos de combustión, para cocinar etc. (Villanueva, 2013). Adicionalmente el biodigestor aprovecha los residuos produciendo abono para el cultivo o bio fertilizantes. Un diseño eficiente, sostenible y de bajo costo es de mucha importancia pues contribuye al mejoramiento de las condiciones de vida preservando el medio ambiente.

1.1 Antecedentes

En muchos países del mundo se está viviendo la escasez del agua y por ende la calidad del agua se ve deteriorada. En la India dos tercios de la población carecen de servicios sanitarios adecuados, un buen número de niños mueren por falta de agua potable (Rosales, 2000). En Nueva Delhi no cuentan con sistemas de alcantarillado y no pueden eliminar los residuos y aguas fecales por la gran demanda de agua, por esto el Rio Yamuna es un vertedero de aguas

residuales (Alvarez M. , 2011). Según el Banco Mundial de la Salud “de no haber un control adecuado del agua en este lugar en un futuro no existirá suficiente agua necesaria para la economía y población”. En algunos países de Latinoamérica se utilizan sistemas aerobios para el tratamiento de sus aguas como lodos activados, lagunas aireadas y filtros percoladores en donde se utiliza mucha energía para proveer aire y grandes espacios para instalar lagunas de tratamiento (Rivero.J, 2010).

Ecuador es un país con suficiente agua a nivel nacional sin embargo el agua es mal distribuida y por ende los recursos se agotan. La Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento en el 2014 empezó obras para la descontaminación de ríos, recuperación de quebradas, drenaje, además construyó interceptores para captar aguas servidas y llevarlos a una planta de tratamiento (EMAPS, 2014). En la parroquia de Tumbaco en el 2006 se realizaron estudios que determinaron que el agua de consumo tiene cierta cantidad de arsénico, es por esto que se inició un tratamiento de las aguas a través de la planta de tratamiento de Agua Potable Paluguillo que tiene como finalidad la mejora de la cantidad y calidad del servicio (Maldonado, 2016). El crecimiento poblacional y los cambios climáticos aceleran el crecimiento de aguas residuales, la falta de control produce daños sobre la salud humana.

En Tumbaco predominan aguas residuales de tipo doméstico, que son los residuos líquidos de viviendas, establecimientos comerciales o institucionales, aguas negras que constituyen desechos líquidos con materia orgánica, fecal y orina, aguas grises que contienen jabón o detergente y aguas que provienen de la industria (Pulido.S, 2013).

En esta investigación se desea tratar las aguas negras de los barrios Tola Grande, Tola Chica y Santa Rosa ubicados en la Parroquia de Tumbaco del Cantón Quito. Estas aguas se reunirán por medio de tuberías en un biodigestor que aprovecha los desechos humanos utilizando procesos

anaerobios que disminuye los malos olores y utiliza bajos costos operacionales .En Ecuador se conoce poco acerca del uso de biodigestores, pero desde hace algunos años varios cantones han desarrollado proyectos de rellenos sanitarios para controlar de forma adecuada los residuos sólidos de sus ciudades y utilizando técnicas sin la presencia de oxígeno generan biogás que permite obtener energía eléctrica renovable .

“Un ejemplo es la ciudad de Cuenca en donde su relleno Pichacay espera en el 2016 generar electricidad a través del biogás obtenido y desea vender cada kilovatio producido en el sitio” (EMAC, 2013).

1.2 Justificación del Proyecto

La cantidad de aguas residuales que se forman por la actividad industrial, agropecuaria y asentamientos se incrementa de forma acelerada. Es por esto que se debe dar mayor importancia al tratamiento de las aguas negras para reducir las enfermedades que estas transmiten, evitar la generación de plagas y mejorar el desarrollo de las comunidades. Hoy en día las aguas residuales crecen en función del aumento poblacional y por ende el gasto energético también incrementa. La cantidad de aguas residuales generadas en la Parroquia de Tumbaco en las localidades de Tola Grande, Tola Chica y Santa Rosa se las puede tratar por medio de la implementación de un biodigestor, el objetivo principal de un biodigestor es producir biogás, pero esto depende de la cantidad de materia orgánica que almacena. El diseño de un biodigestor es una solución ambiental sostenible y económica pues permite un tratamiento primario de aguas negras para que no contaminen los ríos de este lugar, especialmente el río San Pedro y Chiche que predominan en esta zona. Además este aparato disminuye proliferación de moscas y los malos olores en los lugares donde descargan las aguas. Finalmente el área de estudio es una zona con suelos muy

fértiles y existen áreas grandes para el cultivo es por esto que los residuos que quedan en el digestor se los puede utilizar como abono, bio fertilizantes evitando así el uso de químicos que degradan la composición del suelo y afectan la calidad del agua y del ambiente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Principal.

Diseñar un biodigestor accesible y amigable con el medio ambiente en el sector de la Tola Grande, Tola Chica y Santa Rosa de la parroquia de Tumbaco con el fin de mejorar el tratamiento de aguas residuales utilizando técnicas ambientales sostenibles mediante procesos anaerobios que permiten obtener concentraciones de biogás.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Realizar un Estudio general de los principales aspectos que describen la Parroquia de Tumbaco y por ende la zona de estudio.
- Reducir considerablemente el DBO en aguas residuales de la zona de estudio.
- Presentar una Evaluación del Impacto Ambiental de la Obra Civil.
- Proponer un Presupuesto referencial del Biodigestor económico y accesible.
- Aprovechar los residuos que quedan después del tratamiento de aguas para la producción de bio abono o bio fertilizantes.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Ubicación del Área de Estudio

Tumbaco está ubicado en las faldas del Ilalo en el valle Interandino, al nororiente de Quito, limitado al norte por Puembo, al sur Ilalo y Parroquia Guango polo, al este Provincia del Napo y al oeste Parroquia Cumbayá. La altitud es de 2.235 m.s.n.m y la superficie aproximada de la parroquia es de 65.49 Km m2. Las localidades de la Tola Grande, Tola Chica y Santa Rosa se encuentran dentro de la Parroquia de Tumbaco del Cantón Quito en la Provincia de Pichincha. En el siglo XIX agrupamientos indígenas formaron lo que hoy se conoce como los barrios Rumi huaico, Collaquí, Churuloma, Colagasi, Inga, La Tola entre otros que constituyen esta Parroquia (GAD, 2012).



Figura 2.1 Casa ubicada en el Barrio Tola Chica
Fotografía de: Gabriela García

2.2 Límites del Área del Proyecto

Los límites de la zona de estudio son:

Norte: Quebrada el Payaso

Sur: Quebrada Lushun

Este: Río Chiche

Oeste: Río San Pedro, Quebrada el Común y Viñan

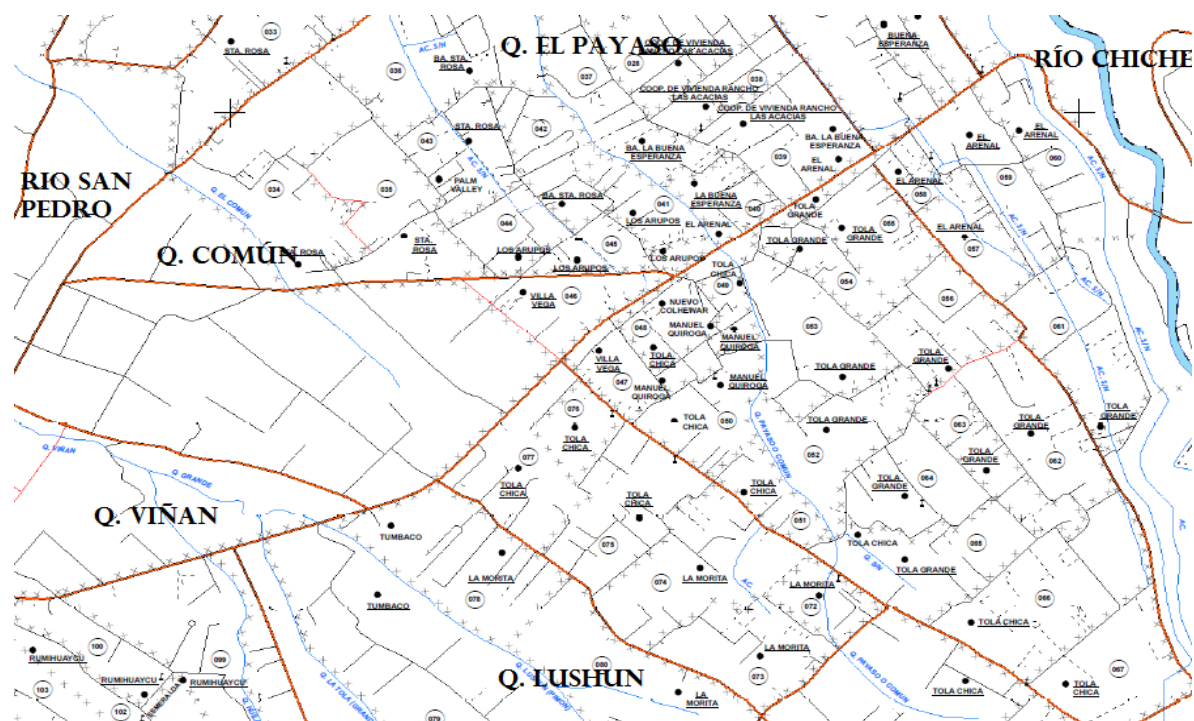


Figura 2.2 Mapa INEC de la Zona de Estudio

2.3 Demografía

La superficie aproximada de la Parroquia es de 65.25Km², Según los datos del INEC de acuerdo al último censo realizado en el año 2010 el total de la población en la Parroquia de Tumbaco es de 49,944 donde 24.448 son hombres y 25.496 son mujeres, la densidad poblacional es de 765.43.

De acuerdo con los datos Inter censales que reposan en la biblioteca del INEC, se realizó un histograma que se observa en la **Figura 2.3** en donde se ve un evidente aumento poblacional en los últimos 20 años desde el primer censo en 1990, además la tasa de crecimiento anual en el periodo 2001-2010 es de 2.89% y del periodo 1990-2001 es de 4.59% (INEC, 2001).

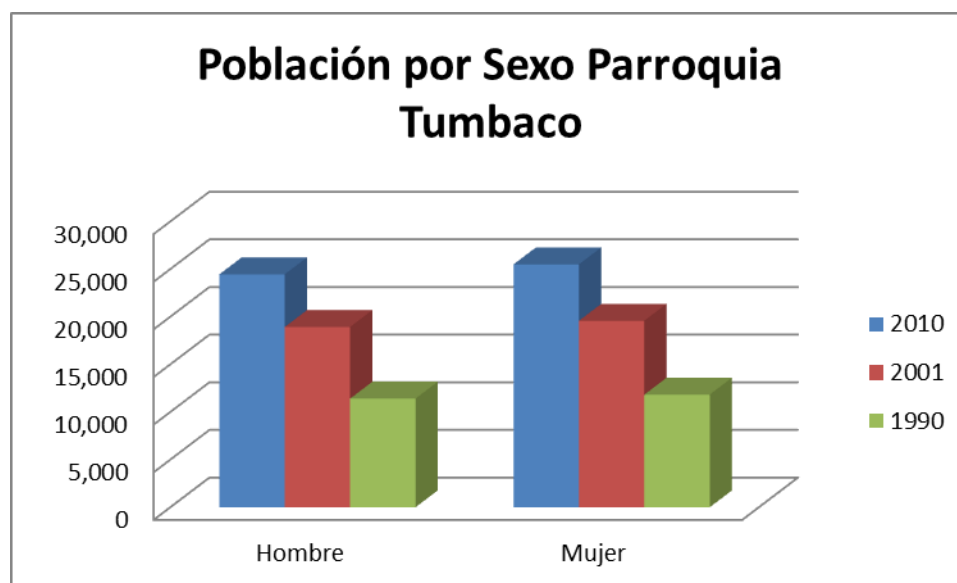


Figura 2.3 Histograma Inter censal del año 1990-2001-2010 por Sexo en la Parroquia de Tumbaco.

Fuente: Datos Censales Biblioteca INEC; **Realizado por:** Gabriela García

De acuerdo a los datos que se encuentran en la Biblioteca del INEC el número de habitantes específicamente para los barrios Total Grande, Tola Chica y Santa Rosa según el censo del 2001 se indica a continuación en la **figura 2.4**.

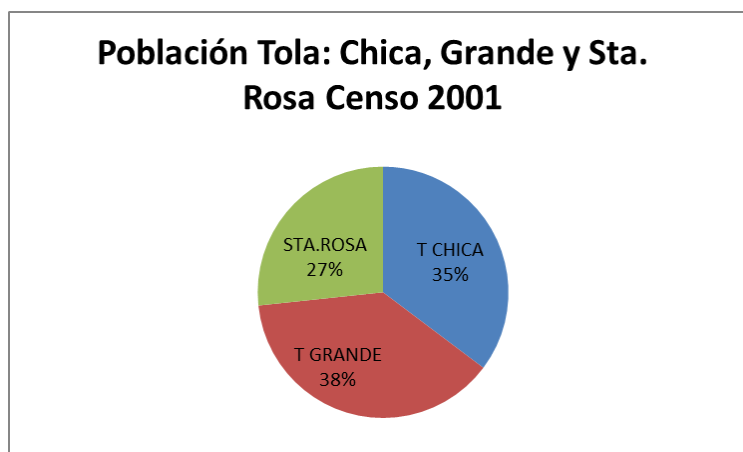


Figura 2.4 Censo 2001 en los Barrios de Tumbaco

Fuente: Datos Censales Biblioteca INEC; **Realizado por:** Gabriela García

El crecimiento demográfico en la parroquia de Tumbaco es evidente, debido a una alta tasa de natalidad y la migración de personas que provoca asentamientos humanos ilegales en la zona periférica de la parroquia. Estos asentamientos causan daños ambientales y un control deficiente de los servicios básicos y sociales (PDOT, 2014).

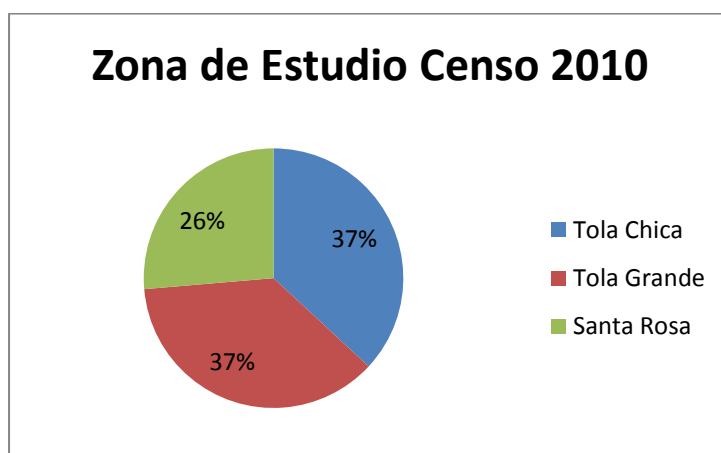


Figura 2.5 Censo 2010 en los Barrios de Tumbaco

Fuente: Datos Censales Biblioteca INEC; **Realizado por:** Gabriela García

Específicamente en la zona de estudio se puede observar en la **Figura 2.4** y **Figura 2.5** que el crecimiento poblacional se mantiene constante y no hay un cambio significativo en el aumento poblacional.

2.4 Recurso Suelo

El suelo es un recurso natural donde se asientan todos los seres vivos. “Es fuente de materia prima y permite el desarrollo de las poblaciones pues en él se realizan procesos de producción, agricultura, industria e infraestructura” (Fierros.F, 2011). La estructura geológica de esta Parroquia tiene rocas volcánicas continentales para la formación de Cangahua es común en los barrios Chuspiyacu, Alcantarilla y Cashaloma (PDOT, 2014).

El suelo predominante en nuestra zona de estudio es Franco- arenoso que “se caracterizan por tener poca cantidad de agua, se calientan fácilmente con los rayos solares, y tienen más arena que suelo franco común” (Gentile, 2003). Estudios realizados por el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del GAD de Tumbaco establecen que el territorio cuenta con suelos tipo Inceptisoles en gran porcentaje de 43.06%, además otras combinaciones de suelos que se indican en la **tabla 2.1** a continuación:

TIPO DE SUELOS			
TIPO	DESCRIPCION	SUPERFICIE Ha	%
Misceláneos	Sectores donde no hay suelo o es incipiente o hay pendientes muy inclinadas y el suelo es de escaso desarrollo.	0.55	14.79
Inceptisol	Suelos jóvenes se dan en climas húmedos, la vegetación nativa suele ser bosque.	324.17	43.06
Entisol	Suelos jóvenes con un desarrollo limitado. Se forman en depósitos fluviales.	397.34	6.07
Mollisoles	Suelos oscuros y suaves se desarrollan bajo la vegetación herbosa. Rico en Humus, la fertilidad del suelo es excelente.	29.93	31.63

Tabla 2.1 Combinaciones de Suelo en la Parroquia de Tumbaco
Fuente: GAD TUMBACO; **Realizado por:** Gabriela García

Los suelos de estos barrios son de uso agrícola, ganadero y uso residencial, la tierra es muy fértil y rica para producir aguacates, limón, mandarinas, chirimoyas, tomate riñón, tomate de árbol, alfalfa, duraznos, guabas, entre otros que son alimentos típicos en esta zona.



Figura 2.6 Arbol Mandarina Tola Chica
Fotografía de : Gabriela García



Figura 2.7 Arbol Aguacate Tola Grande
Fotografía de: Gabriela García



Figura 2.8 Arbol Tomate arbol Tola Chica
Fotografía de : Gabriela García



Figura 2.9 Arbol durazno Tola Chica
Fotografía de: Gabriela García

2.4.1 Contaminación del Suelo.

El impacto Ambiental sobre el suelo ha originado la contaminación del mismo, la calidad del suelo se ve afectada por el vertido directo o indirecto de residuos o productos peligrosos. La contaminación del suelo a su vez contamina las aguas subterráneas y superficiales, contamina al aire por evaporación o arrastre por el viento, provoca envenenamiento por contacto directo, etc. (Granja, 2010).

A continuación en la **Tabla 2.2** una descripción de los contaminantes más comunes del suelo.

Contaminantes del Suelo	Características esenciales:
Contaminantes Metálicos	<ul style="list-style-type: none"> • Son los metales pesados. • Nacen en vertidos industriales, actividades mineras, residuos, pesticidas, tráfico, etc. • Son altamente tóxicos.
Contaminantes Orgánicos	<ul style="list-style-type: none"> • Existe diversidad de compuestos orgánicos, cuentan con la degradación química y biológica. Dependen tipo suelo
Fertilizantes	<ul style="list-style-type: none"> • Los fertilizantes contienen nitrógeno y nitratos. El exceso de nitratos causa problemas de eutrofización y de toxicidad. • El fosforo es parte de los fertilizantes y son retenidos en suelos ácidos y alcalinos.
Pesticidas	<ul style="list-style-type: none"> • Compuestos que sufren transformaciones químicas, degradaciones biológicas, lixiviación de los acuíferos. • La absorción de un pesticida tiene diversos efectos de degradación y toxicidad.
Acidificación	<ul style="list-style-type: none"> • Causada por vertidos industriales, acumulación de residuos vegetales, lluvia acida o fertilizantes. • Se da por la disolución de materiales insolubles del suelo y liberación de metales tóxicos.
Salinización	<ul style="list-style-type: none"> • Consiste en la acumulación de sales solubles. • Común en regiones Áridas. • Las aguas subterráneas contienen altas concentraciones de estas sustancias. • Causas: Meteorización química, existencia de sales fósiles, presencia de aguas superficiales, precipitación atmosférica.

Tabla 2.2 Contaminantes Comunes del Suelo

Fuente: Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial; **Realizado por:** Gabriela García.

La contaminación del suelo en esta zona es más común debido al mal uso de pesticidas para los cultivos, por riego con agua contaminada, por el polvo de las zonas urbanas o por los desechos industriales derramados en la superficie. Existen productos químicos, como abonos sintéticos que pueden ser de gran utilidad en la siembra pero al darle un mal uso altera la composición del suelo y baja la producción ([Bermudez, 2002](#)).

Utilizar en exceso abonos sintéticos elimina la fauna y flora del sector pues el agua de los abonos llega a ríos, quebradas, acuíferos afectando a plantas y animales acuáticos, por esto es mejor utilizar abonos orgánicos y bio fertilizantes, estiércol de animales y humus ([Bermudez, 2002](#)).

Los plaguicidas se utilizan frecuentemente en los cultivos de esta zona para controlar las plagas de insectos, hongos, bacterias, roedores, etc.

El incremento de la basura en las quebradas aumenta la contaminación del suelo en esta parroquia, adicionalmente el inadecuado tratamiento de desechos sólidos genera la propagación de plagas como ratas e insectos ([PDOT, 2014](#)).

Es importante un control eficiente de la calidad del suelo puesto que si lo contaminamos descontroladamente se afecta el ciclo biogeoquímico y la función de bio filtro, además disminuye el crecimiento de microorganismos en el suelo, disminuye el rendimiento de los cultivos lo cual afecta a la composición de los productos, se contaminan las aguas superficiales y freáticas por procesos de transparencia ([Juan Porta, 1998](#)).

2.5 Recurso Agua

La falta de información hidrometeorológica y estadística del agua en el Ecuador impide un control y regulación eficiente del recurso de agua. Dentro del estudio del agua se debe considerar el aumento de la población, la actividad económica y la situación de los recursos hídricos. El agua es un factor importante en la vida de los seres vivos y es un recurso de mayor incidencia en la vida económica y social del país. De este recurso depende el desarrollo y supervivencia de una población. El agua influye considerablemente en el medio ambiente puesto que es fuente de energía y producción (Escobar, 2002).

Esta parroquia pertenece a la sub-cuenca del río Guayabamba y está conformada por 4 microcuencas que ocupan 6.547 ha, los elementos naturales que limitan la parroquia son el Río Chiche, Río San Pedro, Viñan y Río Guangal.

Los canales de riego captan el agua del Río Pita que tiene ramales, canales secundarios y terciarios, a la altura del polígono de tiro y en la Comuna Central se encuentran tanques de distribución de agua potable que distribuyen al centro de Tumbaco (PDOT, 2014).



Figura 2.10 Río San Pedro
Fotografía de: Gabriela García



Figura 2.11 Canal de Regadío Santa Rosa
Fotografía de: Gabriela García

Originalmente el servicio de agua potable en la zona de Tumbaco inicia en la Planta de Tratamiento Bellavista en Quito, se conecta a la planta de agua Pallares Tumbaco y a la red de distribución de los tanques existentes en Tumbaco. En esta Parroquia existe un 95% de agua potable y un 5% se abastecen de pozo, río, vertiente y agua lluvia, sin embargo sectores como Chuspíyacu el servicio de agua potable no es constante (PDOT, 2014).

2.5.1 Contaminación del Agua.

La contaminación del agua se da al introducir algún agente que altere la calidad y composición química, la Organización mundial de la Salud establece que el agua contaminada no está en condiciones de consumirla. Los ríos, lagos y quebradas son vulnerables a la contaminación producida por actividades del hombre (Alvarez M. , 2008).

Los océanos, pozos y acuíferos son los más afectados. “Los residuos de plásticos que son arrojados al mar eliminan grades especies marinas y las aves se tragan desechos que están flotando en el mar” (Alvarez M. , 2008). Las masas de agua realizan el proceso de auto purificación pues tienen organismos que metabolizan y reaccionan con sustancias contaminantes hasta hacerlas desaparecer. En la **Tabla 2.3** se puede apreciar los principales contaminantes del agua:

Contaminantes	Descripción
Agentes Patógenos	Se refiere a bacterias virus o paracitos de desechos orgánicos que tienen contacto con el agua.
Desechos	Existen bacterias en el agua que sirven para biodegradar los desechos, estas pueden llegar a agotar el oxígeno del agua, extinguiendo así, a las especies del mar.
Sustancias Inorgánicas	Ácidos y metales tóxicos que dañan la composición del agua.
Sustancias Orgánicas	Como el petróleo, plaguicidas y detergentes.
Nutrientes vegetales	Provocan el crecimiento de plantas acuáticas que al morir agotan el oxígeno del agua.
Sedimentos	Materia suspendida en el agua.
Aumento de Temperatura	Disminuye la cantidad de oxígeno en los océanos.

Tabla 2.3 Contaminantes del Agua.

Elaborado por: Gabriela García **Fuente:** Contaminantes del Agua, Álvarez, 2008

La contaminación del agua afecta a los ecosistemas e impide un desarrollo sostenible. El crecimiento poblacional, la demanda del agua, el incumplimiento de las normas y la falta de sanciones para quienes dañen el medio ambiente causan un deterioro en la calidad del agua. El deterioro de la calidad del agua también se da por los desperdicios municipales y de la industria, residuos de la agricultura, crianza de animales, petróleo y otros desperdicios sólidos urbanos (Escobar, 2002).

En los barrios de Tumbaco predomina la contaminación por basura y aguas servidas en zonas de laderas, principalmente en las quebradas del Payaso, Grande, Viñan, Olalla, El Canal, Catalina, esto se da por la falta de alcantarillado en zonas cercanas a las quebradas. Además las chancheras que hay en estos barrios contaminan los drenajes naturales, las actividades industriales no tienen un tratamiento adecuado para sus desperdicios y por ende contaminan los ríos (PDOT, 2014).

A continuación se presentan la **tabla 2.4** que refleja la contaminación de los ríos y quebradas que rodean la Parroquia de Tumbaco.

Contaminación de Agua en Tumbaco			
Nombre Cuerpo Hídrico	Evidencia Contaminación	Factor	Sector Involucrado
Río San Pedro	Alta	Aguas Servidas+ Desechos Sólidos	Tumbaco Central
Río Chiche	Alta		El Arenal, La Tola
Q. Viñan	Alta	Aguas Servidas	Santa Rosa
Q. El Caiman	Alta	Aguas Servidas+ Desechos Sólidos	Churuloma
Q. El Payaso	Alta		Chichipata, Collaquí

Tabla 2.4 Contaminación del Agua en Tumbaco

Fuente: PDOT TUMBACO

“A comienzos del 2006 un grupo de moradores de Tumbaco forman el Comité pro Agua sin Arsénico, pues el agua que consumían provenía de pozos profundos, y en una investigación encontraron que esta agua contenía arsénico con altos niveles de contaminación” (Weemaels, 2006).

La investigación consistió en reunir muestras de cabello de los habitantes de este lugar, los resultados confirmaron que el EMAAP-Q proveía y vendía agua con arsénico. Tras este problema se cerraron los pozos de agua que abastecía a Tumbaco, actualmente se recibe agua potable de la planta Bellavista por medio de tuberías (Robles, 2007).

Adicionalmente la precipitación en Tumbaco aumenta en los meses de marzo, abril, octubre y noviembre y bajan en julio y agosto con un promedio anual de 71.7 mm según los datos del INAMHI en el año 2009 obtenidos de la Estación Meteorológica la Tola.

2.5.2 Alcantarillado.

La idea de alcantarillado nace en 1832 cuando Europa fue invadida por la epidemia del cólera entonces se empezó a implementar en las ciudades programas de alcantarillado que permiten coleccionar y transportar aguas residuales a un sitio adecuado que no perjudique al medio ambiente (Santos F. , 2009). Los sistemas de alcantarillado retiran las aguas residuales y las aguas pluviales, el alcantarillado es un conjunto de tuberías e instalaciones llamado alcantarillas, estas tienen una red de atarjeas que son conductos de menor diámetro y reciben aguas domésticas, en la alcantarilla también hay subcolectores y colectores que son tuberías que captan el agua que traen las atarjeas (Jimenez, 2013). El emisor retira de la localidad todo el volumen de agua captada por la red de alcantarillado y la lleva al sitio donde las aguas residuales recibirán el tratamiento para separar de las aguas negras los sólidos, líquidos, productos químicos y así disminuir la contaminación de las mismas. Una vez que las aguas residuales reciben un tratamiento adecuado se deben desalojar o reusar en un sitio de vertido (Merino, 2009).

Para la elección de una red de alcantarillado hay que verter a cauces naturales las aguas lluvias por los recorridos más cortos, se debe evitar las elevaciones e impulsiones si se utilizan estas alternativas hay que tener gran cantidad de energía eléctrica para los equipos de bombeo (Velez, 1979).

Este servicio tiene menor cobertura en Tumbaco, abarca un 79.4% de las viviendas, la escasez de alcantarillado se da en los poblados de la Vía Interoceánica. “En ciertos barrios como Collaqui, Plazabamba, Leopoldo Chávez, Las Marías el sistema colapsa debido a la basura que se acumula en las alcantarillas por ende se tapan las tuberías y las calles se inundan” (PDOT, 2014). El alcantarillado sanitario es fundamental en todos los poblados pues este sistema permite evacuar exclusivamente las aguas residuales domésticas.

3. AGUAS RESIDUALES Y TRATAMIENTO

3.1 Concepto de Aguas Residuales

Las aguas residuales o negras son aquellas que están contaminadas o sucias debido al uso en hogares, fabricas, actividades ganaderas, etc. Estas contienen detergentes, materia orgánica, residuos de ganados, plaguicidas entre otras sustancias toxicas es por esto que deben tener un tratamiento adecuado, se las conoce también como aguas negras o cloacales (Diaz, 2008).

Algunos contaminantes de las aguas residuales se indican en la **Tabla 3.1** a continuación:

Contaminantes	Descripción
Sólidos en Suspensión	Estos pueden dar lugar a la formación de depósitos de fango.
Materia Orgánica Biodegradable	Constituidos por proteínas, carbohidratos y grasas de animales. Se mide en Función del DBO y DQO.
Patógenos	Presentes en el agua residual, transmiten enfermedades patógenas.
Nutrientes	La acumulación de nitrógeno, fosforo y carbono al verter en el terreno en exceso se contaminan las aguas subterráneas.
Contaminantes Prioritarios	Se hallan en el agua residual, son orgánicos o inorgánicos, son de alta toxicidad.
Materia Orgánica Refractaria	Resiste los métodos de tratamiento. Ejemplos pesticidas, fenoles o agente tenso activo.
Sustancias Toxicas y Metales Pesados	Se introducen en las aguas residuales por actividades comerciales e industriales.
Solidos inorgánicos Disueltos	El sodio, el calcio y sulfatos se introducen al agua por el uso de la misma.

Tabla 3.1 Contaminantes en las Aguas Residuales **Fuente:** Parámetros y Características de las aguas Residuales, (Cubillos).

El agua Residual al contener nutrientes y materia orgánica es de gran uso en la agricultura pero el uso abusivo de estas aguas genera peligro para la salud pública. Los contaminantes del agua residual afectan al agua subterránea. El depósito de las aguas residuales en cuerpos de agua

alteran los ecosistemas acuáticos ya que modifican las concentraciones de oxígeno, la temperatura y nutrientes. Las aguas residuales urbanas en muchos países sub-desarrollados no son controladas y se acumulan debido a instalaciones de saneamiento que contaminan directamente el suelo, los sistemas de alcantarillado contaminan aguas subterráneas pues descargan efluentes aguas abajo y se infiltran al suelo desde los sistemas de drenaje (Santiago Foster, 2006).

El río San Pedro que pasa por nuestra zona de estudio recibe todo tipo de descargas en donde predominan las aguas residuales de los centros urbanos sobrepasando la cantidad de autodepuración del río.

3.1.1 Contaminantes Orgánicos.

Los contaminantes pueden encontrarse en el agua en diferentes estados, pueden estar disueltos o en suspensión es decir en gotas o en partículas. Los diferentes contaminantes del agua tienen diferentes maneras de introducirse en el medio ambiente, los más conocidos por afectar a la salud son los compuestos orgánicos que son tejidos básicos de los organismos vivos (Vasconez, 2014).

El comportamiento de estos compuestos depende de su estructura molecular, tamaño y forma. Algunos de los contaminantes orgánicos son los hidrocarburos que tienen enlace simple o enlace doble, los de enlace doble son estructuras de anillo y son más reactivos que los simples, los PCB es decir bifenilos poli clorados son fluidos estables y no reactivos y no son solubles en agua, los insecticidas son peligrosos pues se acumulan en los tejidos grasos de los animales introduciéndose en la cadena alimentaria y los detergentes (Perez F. , 2011).

Casi todos los contaminantes orgánicos son degradables. Se conocen como contaminantes degradables o bio degradables los que se pueden separar en sustancias más simples. Las bacterias

producen la descomposición de materiales orgánicos en el agua, estas bacterias utilizan los compuestos orgánicos como alimento y lo usan como fuente de energía para procesos de oxidación biológica, en donde consumen oxígeno disuelto en el agua, a este proceso se lo conoce como descomposición aerobia (Mihelcic, 2001). Cuando no hay oxígeno suficiente en el agua la desintegración bacteriana se conoce como descomposición anaerobia sin oxígeno, este proceso es fuente principal para la obtención de metano y sulfuro de hidrógeno (Mihelcic, 2001).

3.1.2 contaminantes Inorgánicos.

“Algunos contaminantes inorgánicos no son tóxicos e incluyen a todos los sólidos en especial de origen mineral como sales minerales, arcillas, lodos, arenas y gravas, al usarlos continuamente se convierten en un peligro para el ambiente” (Vasconez, 2014).

Estos son los fertilizantes que contienen nitratos, fosfatos y hacen que el nivel de oxígeno en el agua disminuya. Los metales como el plomo, zinc, magnesio, calcio y potasio se encuentran en algunas aguas superficiales en formas iónicas estables, los metales pueden reaccionar con otros iones y formar productos peligrosos puesto que no son bio-degradables (H Glynn, 1996).

3.1.3 Contaminación de las Aguas Superficiales y Subterráneas.

La contaminación de aguas se da en aguas superficiales y en aguas subterráneas. La contaminación de mantos de aguas superficiales ocurre por fuentes no puntuales como la agricultura, los agricultores desechan productos químicos y fertilizantes en los ríos. Para evitar esto se debería erradicar el uso de estos productos en tierras planas, además los ganaderos deberían controlar el escurrimiento e infiltración de desechos de animales en las granjas (Adriana Pascual, 2010). Las fuentes puntuales acarrean aguas negras y desechos industriales que son descargados en las corrientes de aguas más cercanas y se produce la sedimentación de los sólidos contaminando el cuerpo de agua que lo contiene.

Adicionalmente el agua freática es la subterránea y es de gran importancia para consumirla y para el riego agrícola, por esto se agota con facilidad, las aguas subterráneas no pueden depurarse por sí mismas, ya que sus corrientes son lentas y no turbulentas y los contaminantes no se diluyen ni se dispersan fácilmente (Tamayo, 2000).

La contaminación de lagos y ríos conlleva a la eutrofización que se produce cuando el agua se llena de nutrientes de modo artificial y genera un crecimiento anormal en las plantas. Los fertilizantes que son arrastrados de los campos a las aguas pueden ocasionar este proceso que además ocasiona problemas estéticos como mal sabor, olor y la falta de oxígeno en la profundidad de las aguas (Miller, 2002). Para evitar este proceso se debe erradicar el uso de fertilizantes, plaguicidas químicos y disminuir el desperdicio del agua de riego. Además es importante tratar las aguas residuales en estaciones depuradoras que incluyan procesos químicos y biológicos eliminando así el fósforo y el nitrógeno, también se debe almacenar el estiércol de granjas, reducir las emisiones de amoníaco (Odoum, 1971). Existe la eutrofización natural que se produce en todos los cuerpos de agua puesto que siempre van recibiendo nutrientes y la eutrofización de origen humano se dan por los vertidos del hombre por sus desechos humanos, agrícolas, ganaderos, detergentes, etc. (Miller, 2002).

3.2 Parámetros de Calidad

“Es importante conocer la calidad de las aguas superficiales por medio de métodos físico – químico que estudian las características físicas y componentes químicos del agua y métodos biológicos que estudian las alteraciones en la fauna y flora” (Isabel García, 2006). El estudio de calidad indica la situación real y actual de los ríos para compararlos con parámetros estándares deseados propuestos por la Organización Mundial de la Salud. Además para evaluar la calidad de agua se está utilizando parámetros biológicos como bio - indicadores que estudia los conflictos

que atravesó una comunidad biológica tras sufrir una perturbación. Una evaluación biológica es de bajo costo y permite obtener resultados de las condiciones del agua en el pasado y en el presente (Perez F. , 2011).

Se debe considerar las características del efluente como el caudal, la composición y las fluctuaciones, para esto se extraen muestras de agua residual cada hora durante todo el día para luego unir las muestras en una sola realizar un análisis en los que se debe cumplir con los parámetros establecidos (Galvez, 2008). Los parámetros más conocidos son los siguientes:

- **Temperatura:** Generalmente las centrales eléctricas alteran la temperatura de los ríos ya que cogen aguas frías para usarlas como refrigerante y las devuelven al río calientes produciendo contaminación térmica como consecuencia del aumento en la temperatura, por ende se disminuye el oxígeno disuelto y se elimina la fauna (Gálvez, 2008).
- **pH:** Es la medida de acidez o alcalinidad del medio. Los cambios del pH producen autodepuración de los residuos y el material de las instalaciones. El pH ácido las corroe y el pH alcalino produce incrustaciones (Avedaño, 2010). En Tumbaco sobre un tramo del Río San Pedro se encuentra la Cervecería Nacional para este tipo de industria un pH adecuado es de 4 a 6. Un pH ácido puede producir gases muy tóxicos (GAD, 2012).
- **Sólidos Sedimentables compactos:** Su sedimentación es función directa del tiempo. Su presencia provoca atascamiento en cañerías o sedimentos en los cuerpos receptores creando condiciones sépticas (Marín, 2014).
- **Sólidos Sedimentables No Compactos:** Su velocidad de sedimentación es función inversa del tiempo. Los sólidos compactos y no compactos forman los sólidos sedimentables totales y están contenidos en un litro de líquido cloacal o industrial (Marín, 2014).

- **Sulfuros:** están presentes en efluentes de mataderos o fábricas de chacinados, para eliminar los sulfuros existe una oxidación natural se puede acelerar este proceso con un arrastre gaseoso en medio ácido.
- **Sólidos Solubles en Éter Etilico:** Son grasa en estado sólido o aceites en estado líquido, impiden la mezcla de agua y aire afectando la autodepuración, afectan el sabor y color del agua, flotan en cañerías (Martín, 2014).
- **Cianuros y fenoles:** Deben ser menores a 0,1 mg/l, necesitan de un proceso de sedimentación pues forman barros.
- **Carbono Orgánico Total COT:** Se analiza mediante una combustión catalítica en donde el carbono orgánico se transforma en CO₂, antes de la calcinación se somete la muestra a una temperatura menor para eliminar la alcalinidad.
- **Nitratos y Nitritos:** la oxidación del nitrógeno de nitritos a nitratos se da por la descomposición de la materia orgánica, la aireación y la humedad, estos componen los fertilizantes nitrogenados, líquidos cloacales, etc (Martí, 2014).
- **Demanda de Cloro:** Se refiere a la cantidad de cloro que se le añade al agua, en el proceso de desinfección del cloro quedan concentraciones de cloro residual.
- **Detergentes:** Son productos que se utilizan para el lavado o blanqueado, existen detergentes no biodegradables y biodegradables. Los detergentes comunes producen espuma y tienen una lenta degradación afectando la autodepuración de los cursos del agua.
- **Arsénico:** Es un metaloide que en el cuerpo humano puede causar enfermedades como cáncer del hígado, de la piel, dermatitis, enfermedades del sistema nervioso, cardiovascular y otras. En Tumbaco cerraron los pozos de agua con arsénico y se dice que

en las faldas del Ilalo hay grandes concentraciones de silicio y vermiculitas y el arsénico esta adherido a estos elementos (Sanchez, 2010).

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO:** Es la cantidad de oxígeno que hay que proveer a un grupo de bacterias aerobias para que degraden la materia orgánica contenida en el efluente. El agua superficial natural tiene una DBO promedio de 0,7 mg de O₂ por litro.
- **Demanda Química de Oxígeno DQO:** Se mide mediante la solución dicromato de potasio en ácido sulfúrico. La demanda química de oxígeno es más alta que el DBO. Es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar los componentes de agua mediante reacciones químicas. Se mide en mgO₂/l.

La relación de DBO/DQO permite encontrar la bio degradabilidad de las aguas residuales, la bio degradabilidad permite identificar sustancias que se las puede utilizar para producir energía por medio de respiración celular, además crea aminoácidos, nuevos tejidos y organismos (Barragán, 2010).

3.3 Clasificación de las Aguas Residuales

Los procesos que implican el tratamiento de aguas residuales se dan en función de la necesidad, es decir si se desea purificar el agua, clarificarla para enviarla al subsuelo o para utilizarla en el riego (Díaz, 2008). Es importante evitar que las aguas residuales contaminen las aguas freáticas. Existen distintos tipos de aguas residuales en función de su origen y características como se indica en la **Tabla 3.2**.

Tipos de Aguas Residuales	Descripción
Domesticas	Se originan en las viviendas familiares, los desechos pueden ser de humanos o de animales.
Sanitarias	Constituyen las aguas domésticas y en ocasiones se suman desechos industriales.
Pluviales	Es el agua de lluvia que fluye en la superficie de la tierra, pavimentos y techos.
Combinadas	Es la mezcla de aguas industriales, domesticas, subterráneas o pluviales.
Desechos Industriales	Cualquier compuesto solido o líquido que proviene de un proceso industrial.
Aguas Negras Frescas	De origen reciente y aun contienen oxígeno.
Aguas Negras en Proceso de Alteración	Pueden no contener oxígeno sin que lleguen a la putrefacción.
Aguas Negras Sépticas	Es cuando no existe oxígeno y empieza la putrefacción en condiciones anaerobias.

Tabla 3.2 Tipos de Aguas Residuales **Realizado por:** Gabriela García

Adicionalmente podemos mencionar que las aguas domesticas o grises son generadas por diversos usos del hombre ya sea por la preparación de alimentos, lavado de platos, limpieza de ropa, el uso del baño son aguas que contienen jabón y residuos grasos de cocina. El agua residual domestica fresca y aerobia tiene olor a queroseno mientras que las envejecidas su olor es más profundo (Fuentes, 2008). El tratamiento de estas aguas consiste en reducir el contenido de grasas y de materia orgánica en suspensión para luego mezclarse con aguas negras que provienen de

sanitarios y por ende tienen gran concentración de parásitos e infecciones. En estas aguas es de gran importancia la determinación del DBO pues este indica la presencia de material orgánico pues mide la concentración de contaminantes orgánicos presentes en las aguas negras, además estima la cantidad de oxígeno que se necesita para estabilizar el carbono orgánico (Mendez, 2010).

El DBO y el DQO son parámetros importantes para la caracterización de las aguas residuales, el DBO es un proceso biológico y su análisis debe ser muy meticuloso para no tener errores, además los resultados de prueba se obtienen después de cinco días. El DQO es una prueba que se obtiene en tres horas, y es la cantidad de oxígeno que químicamente demanda el agua, el método DQO permite medir los contaminantes en las aguas residuales y evalúa la fuerza de los desechos en aguas municipales e industrial (Aguirre, 2013).

Los desechos que existen en las aguas pueden ser inertes como escombros, arenas y materiales que no presentan riesgos para el ambiente, estos se los puede depositar en canteras abandonadas. Existen residuos peligrosos que son inflamables y tóxicos ya que pueden producir reacciones químicas perjudicando la salud de las personas y el medio ambiente puesto que son difíciles de degradar. Los residuos agrícolas que se dan de la actividad ganadera, agropecuaria y pesquera pueden aparecer en estado líquido o sólido, los restos orgánicos se acumulan para fermentarlos y generar gas metano y así obtener energía, la paja que queda se la puede utilizar para alimentar al ganado. Adicionalmente existen residuos radioactivos que son materiales que emiten radioactividad, emiten radiaciones peligrosas para la salud por esto es importante aislarlos mediante la inmovilización del residuo en una matriz sólida y finalmente se tiene los residuos patogénicos que presentan características de toxicidad o actividad biológica y puede producir la contaminación del suelo, el agua, la atmosfera. Estos desechos contienen microorganismos

patógenos y se transmiten por medio de enfermedades infecciosas, estos residuos se encuentran en: jeringas, guantes usados, restos de sangre y fluidos de humanos y de animales (Pacheco, 2014).

3.4 Tratamiento de las Aguas Residuales

“El tratamiento de aguas residuales tiene como objetivo final la eliminación de residuos y contaminantes químicos específicos como elementos patógenos y parásitos, además la reducción del DBO y metales pesados” (Baird, 2001). Para iniciar un tratamiento es importante considerar las características de las aguas y el vertido con el fin de proteger el estado ecológico de los medios receptores, evitar propagación de enfermedades, producir efluentes aptos para la reutilización (Isabel García, 2006) .

Un tratamiento completo consta de:

- **Tratamiento Primario:** Se realiza mediante procesos físicos o químicos o ambos, que incluye la sedimentación de sólidos en suspensión para reducir el DBO. Inicialmente se utiliza una red de tuberías que llevan las aguas negras a una planta de tratamiento. Normalmente se utiliza un sistema separativo de aguas residuales y aguas lluvias (Tchobanoglous, 2004). Entonces empieza el proceso de depuración de objetos gruesos, grasas, materia orgánica sedimentable y disuelta, nutrientes y patógenos. Este proceso incluye línea de agua donde se incluyen procesos para reducir los contaminantes en las aguas negras, y la línea de lodos se tratan subproductos que se originan en la línea de agua. Seguidamente se realiza un desbaste de grueso y finos que consiste en pasar las aguas a través de rejillas, para la reducción de sólidos en suspensión en las aguas se utiliza también tamizados que son unas mallas llamado tamices de 0,2 a 6 mm. Finalmente se realiza el desenredado que extrae la mayor

cantidad de arenas presentes en las aguas negras, y el desengrasado que elimina grasas y materias flotantes de menor densidad que el agua (Isabel García, 2006).

- **Tratamiento Secundario:** Incluyen tratamientos biológicos con sedimentación secundaria pues degrada el contenido biológico de las aguas residuales. En este proceso se busca disminuir la contaminación orgánica, coagulación y la eliminación de sólidos coloidales no de cantables (Ramalho, 1996). Los procesos biológicos necesitan de aire en los recipientes para el mantenimiento de reacciones biológicas, los recipientes son reactores biológicos o cubas de aireación. En estos métodos las bacterias consumen contaminantes orgánicos solubles biodegradables se forman nuevas bacterias que tienden a unirse por floculación. Este tratamiento incluye los filtros biológicos que tratan cargas orgánicas fuertes que provienen de la industria. Estos filtros permiten una alta descarga hidráulica y un alto flujo de aire (Winkler, 1998). Este filtro consiste en un medio sumamente permeable al que se adhieren los microorganismos y a través del cual se filtran las aguas residuales. El lecho filtrante suele ser circular y el residuo líquido se distribuye por encima del lecho mediante un distribuidor giratorio, conforme la película aumenta el espesor de materia orgánica esta se va degradando, y las nuevas células empiezan a degradar su propio tejido celular entonces el oxígeno es consumido produciendo un ambiente anaerobio cerca de la superficie del medio (Santos F. , 2009). Se utilizan también fangos activos que usan el oxígeno disuelto para atrapar partículas de material y bajo ciertas condiciones convertir amoníaco en nitritos y nitratos o gas nitrógeno. Este proceso estabiliza biológicamente el agua residual en un reactor bajo condiciones aerobias utilizando procesos de aireación. Una vez que el agua ha sido tratada una fracción de lodos

decantados se purga como lodos en exceso mientras que otra porción se recircula en el reactor biológico para mantener una concentración determinada de microorganismos. El paso final es retirar los flóculos biológicos del material del filtro y producir agua tratada con bajos niveles de materia orgánica y materia suspendida (Galvez, 2008).

- **Tratamientos Terciarios:** Son tratamientos físico químicos avanzados, permiten obtener mejores rendimientos de eliminación de DBO₅ y materia en suspensión, además aumenta la calidad del efluente antes de verterlo al ambiente. Busca la eliminación de nutrientes como el nitrógeno y fosforo (Seaonez, 1999). La eliminación biológica del fosforo almacena microorganismos que posteriormente se extraen como lodos en exceso. Una vez desinfectados los efluentes se aplica el cloro para desinfectar las aguas negras mediante procesos de de-cloración que permite reducir el número de organismos vivos en el agua (Eddy, 2000). Otro método de desinfección es la luz ultravioleta esta daña la estructura genética de las bacterias o virus para que no se puedan reproducir, no es tan adecuado pues requiere de mantenimiento constante, cambiar continuamente la lámpara y el efluente debe ser muy bien tratado para proteger de los rayos UV. Otra forma de desinfección es la ozonización, el ozono oxida el material orgánico y destruye los microorganismos causantes de enfermedades, sin embargo esta técnica incurre en altos costos en el equipo de generación de ozono (Isabel García, 2006). El tratamiento terciario incluye la línea de lodos, el espaciamiento aumenta la concentración de los lodos mediante técnicas por gravedad y flotación, la estabilización elimina la fracción biodegradable que contienen los lodos para evitar que se pudran y causen mal olor. Este tratamiento finaliza con el acondicionamiento el cual disminuye los productos químicos y mejora

la deshidratación de lodos, la deshidratación elimina la parte de agua contenida en los lodos (Galvez, 2008).

3.4.1 Tratamiento Aerobio.

En el tratamiento biológico las bacterias son de gran importancia es por esto que se les clasifica en base a sus características bioquímicas que son:

- **Por su forma de vida:** Que son de crecimiento suspendido cuando hay flóculos orgánicos o por crecimiento adherido donde las bacterias nacen sobre un apoyo como piedras.
- **Por su uso de Oxígeno:** Son bacterias aerobias que se dan cuando hay una fuente de oxígeno molecular y bacterias anaerobias se reproducen en ausencia de oxígeno.

El tratamiento aerobio comprende la digestión de lodos orgánicos en exceso producidos por otras etapas de tratamiento. La digestión aerobia es semejante al proceso de lodos activados. Este proceso se da cuando el lodo activado procedente del filtro percolador se junta con lodo primario y esto es digerido por vía aerobia (Rinas, 1999). Además existen lagunas con oxígeno donde el agua residual se estabiliza por el metabolismo de las bacterias. Las lagunas pequeñas son aproximadamente de 0,2 hectáreas y 0,9m de profundidad, no necesitan aireación mecánica y no debe haber lugares sin oxígeno, estas reducen el DBO pero tienen un alto contenido de algas (Galvez, 2008). La digestión aerobia cuenta con procesos de fangos activados, procesos de película fija donde los microorganismos se adhieren a un material de soporte como por ejemplo los humedales, fangos activos, filtrado por goteo. Los fangos activados necesitan oxígeno, produce balsas de activación, el DBO desciende en 90% (Escalera, 2009).

3.4.2 Tratamiento Anaerobio.

Se enfoca en la digestión de materia orgánica en un recipiente hermético. Este tratamiento produce menor cantidad de lodo en comparación de un sistema de lodos activos, además los residuos que quedan se lo puede utilizar como abono o mejorador de suelos. Las bacterias anaerobias eliminan el DBO convirtiéndolo en biogás. En un proceso anaerobio a gran escala se utilizan reactores de flujo ascendente con un pulimento aerobio en base de filtro percolador y humedales (Perez F. , 2011).

El tratamiento anaerobio para las aguas residuales utiliza muy poca energía, el espacio de implantación es pequeño, utiliza pocos productos químicos, reduce los costes en el tratamiento de lodos y aprovecha el biogás que es una alternativa para la energía limpia. Este tratamiento requiere del acondicionamiento del agua por medio de un ajuste de pH y temperatura, dosificación de los nutrientes y crecimiento de biomasa anaeróbica (Herdoiza, 2014).

Una vez acondicionada el agua residual es bombeada a caudal constante en el biodigestor, entonces el líquido pasa a un lecho de biomasa granular anaerobia donde se da la conversión biológica de DQO a biogás. En el reactor que se utiliza se separa el agua tratada del biogás producido, este gas se recoge y transporta a un tratamiento posterior con el fin de quemarlo o utilizarlo como fuente de energía limpia (Waste, 2010).

Existen lagunas anaerobias que suelen tener una profundidad de hasta 5 metros, estas funcionan con tanques sépticos abiertos en ausencia de oxígeno, además estas permiten remover el DBO en un 60% a temperaturas de 20°C, a mayores temperaturas se puede controlar el problema del mal olor manteniendo la concentración de SO_4 en el agua residual menor a 500mg/L. En las lagunas anaerobias el poco oxígeno que puede haber se consume rápidamente puesto que trabaja con

elevadas cargas orgánicas, genera sulfuros oscureciendo las aguas para evitar que entre luz y se desarrollen, la pequeña superficie reduce los fenómenos de re aireación artificial. Las aguas residuales que entran a las lagunas anaerobias se tratan por medio de decantación de materia sedimentable, los lodos decantados se degradan disminuyendo su volumen y mineralizándose entonces como producto de las reacciones anaerobias se forma el biogás y cumple con los objetivos de fosas sépticas y tanque imhoff (Santos F. , 2009).

“El objetivo de la etapa anaerobia es retener la mayor cantidad de solidos sedimentables y flotantes y estabilizar los lodos que se acumulan en la laguna” (Restrepo, 2007).

La digestión anaerobia tiene cuatro etapas, la primera es la hidrolisis en donde las bacterias fermentativas actúan sobre la materia orgánica a través de una reacción de hidrolisis enzimática y transforman los polímeros a monómeros individuales. La acetogénesis que es la segunda etapa, las bacterias producen acetato y transforman los monómeros a ácidos orgánicos de cadena corta, al mismo tiempo la metagogénesis degrada los ácidos de cadena larga a acetato (Hiler, 1985).

El ácido acético es el principal sustrato para las bacterias metagogénicas pues cambia el mismo a metano. Existen bacterias metagogénicas acetoclásticas que transforman el ácido acético, propionico y butírico en metano, y bacterias metagogénicas hidrogenoclasticas que transforman el hidrogeno molecular y el dióxido de carbono en metano (Moncayo, 2008).

A continuación la **tabla 3.3** en donde se indica las ventajas y desventajas del tratamiento aerobio vs anaerobio.

Tratamiento	Aerobio	Anaerobio
Ventajas	<p>-Se usan más bacterias de lo que el sistema admite.</p> <p>-Se obtiene metano, este acumula energía que proviene de la materia orgánica inicial por ende la energía obtenida al final es menor.</p> <p>-Genera mayor rendimiento pues de 1 gramo de materia orgánica se genera 0,4 g de biomasa.</p>	<p>-Mejora la calidad del agua residual que se vierte en ríos.</p> <p>-Mejor proceso para eliminar contaminantes, el DBO lo reduce en un 80%, el DQO en un 50%.</p>
Desventajas	<p>-el exceso de biomasa tiene que ser tratado con proceso anaerobio ya que puede contener compuestos recalcitrantes.</p>	<p>-El inicio del proceso es lento, se necesita bacterias concretas y muy coordinadas, Transforma menos materia orgánica en Biomasa.</p>

Tabla 3.3 Ventajas y desventajas del tratamiento aerobio y anaerobio (Perez F. , 2011).

4 BIODIGESTORES

Un biodigestor es un reactor cerrado, hermético e impermeable, este fermenta la materia orgánica que se deposita dentro del mismo. Al mezclarse los desechos con un conjunto de bacterias anaerobias se producen altas concentraciones de metano y otros gases como sulfuro de hidrogeno, dióxido de carbono, nitrógenos entre otros, juntos forman el biogás.

El biodigestor es una solución amigable al medio ambiente por su fácil construcción y su bajo costo pues se utilizan materiales económicos, por esto se implementan en comunidades rurales aisladas mejorando el manejo de desechos vegetales y animales y fomentando una solución ambiental con respecto al gasto energético (Tavizón, 2010).

El biodigestor produce la digestión mediante la fermentación de materia orgánica que realizan las bacterias anaerobias generando varias ventajas como la producción de biogás. Los residuos orgánicos que permiten obtener este gas natural son los desechos de animales domésticos como vacas, aves, cerdos, desechos vegetales como pajas, hojas secas, pastos, basura doméstica y desechos humanos (Jorge Urel, 2013). Además el biogás se lo utiliza en vez de gasolina o diésel en procesos de combustión, también produce energía limpia sustituyendo a la electricidad pues se utiliza para iluminar, cocinar, etc. Otra ventaja es que convierte las excretas en residuos útiles ya que destruye microorganismos, huevos de parásitos impidiendo que se proliferen, reduciendo así la contaminación ambiental, adicionalmente el biodigestor produce abono orgánico o bio abono que es muy útil para el desarrollo de los suelos y cultivos (Preston R. B., 1987).

Según estudios realizados en China “La digestión anaerobia disminuye la transmisión de enfermedades pues al tratar los desechos de animales y humanos se puede reducir hasta un 95% de parásitos y bacterias que causan problemas en la salud pública” (Stainforth, 1978).

En el diseño de un biodigestor se debe tomar en cuenta los factores humanos como: los recursos disponibles es decir materiales de construcción, mano de obra, área disponible, disponibilidad de materia prima ya sean desechos agrícolas, pecuarios, domésticos o industriales, factores biológicos: enfermedades y plagas, factores físicos como: localización, geografía, aspectos climáticos, vías de acceso y características del suelo, factores utilitarios es decir el uso del biodigestor si es de tipo sanitario, energético, fertilizante o integral (Jorge Urel, 2013).

Cuando el uso del biodigestor es sanitario este realiza un tratamiento adecuado de las aguas residuales, sin embargo en algunos países como en México tratan sus aguas con lodos activados, lagunas aireadas y filtros percoladores que son procesos y sistemas aerobios, estos sistemas requieren aire es por esto que se necesita gran cantidad de energía para proporcionar aire, además para las lagunas de tratamiento se necesita grandes espacios motivo por el cual un biodigestor bajo condiciones anaerobias es una alternativa sostenible y económica para el medio ambiente puesto que no requiere de oxígeno y eso permite la reducción de costes (Juan Rivero, 2012). A continuación en la **Tabla 4.1** se presenta las ventajas y desventajas de Biodigestores anaerobios.

Ventajas	Desventajas
Producción de Energía: Gracias a bacterias metagógicas, gran parte de las aguas se transforman en gas metano, puesto que 1kg de DQO eliminada produce 350 litros de gas metano.	Puesta en Marcha: la ejecución es lenta pues los microorganismos crecen de forma lenta.
Producción de Fangos: Los residuos que no contienen biogás quedan muy estabilizados para utilizarlos después de la deshidratación.	Temperatura: Lo mínimo es de 35°C para que el proceso sea óptimo.
Proceso Exterior: debido al proceso anaerobio la producción de malos olores es baja.	Costos: Un tratamiento completo necesita un sistema integrado aumentando los costos sin embargo los costos de operación y mantención solo requiere personal capacitado y no es muy frecuente.

Tabla 4.1 Presenta las ventajas y desventajas de Biodigestores anaerobios (Perez J. , 2010).

El biodigestor además del tratamiento que brinda es una solución ambiental puesto que disminuye la contaminación de las aguas, elimina malos olores, disminuye la transmisión de enfermedades y evita el desarrollo de moscas y plagas (Elizondo, 2005).

4.1 Factores de Control en el Biodigestor

Un reactor anaerobio es un sistema aislado bajo condiciones ambientales que favorecen interacciones bióticas. El control de ciertos parámetros ambientales permiten un funcionamiento óptimo de este sistema, a continuación se detallan algunos parámetros importantes que se debe considerar para un diseño eficaz de biodigestor.

- **Temperatura:** La temperatura es el parámetro más importante pues es una variable reguladora de la velocidad en el crecimiento de bacterias. Es recomendable construir el digestor en el suelo por su capacidad de aislamiento pues a mayor temperatura mayor producción de gas, la temperatura debe permanecer constante en todo momento (Elizondo, 2005). La tasa de fermentación anaeróbica de los sólidos orgánicos y su conversión a biogás está directamente relacionado con la temperatura interna del biodigestor, el proceso tiene ciertos rangos desde 15°C a 60°C, la mayor eficiencia para obtener biogás esta en los rangos de mesofílico 30°C a 40°C es el más utilizado en el medio rural e industrial, este presenta mayor estabilidad y producción de biogás, requiere de menor energía para alcanzar temperaturas estables. El rango termofílico 55°C a 60°C este sistema requiere altos requerimientos energéticos para mantener la temperatura estable, la producción de biogás es el doble de la digestión mesofílica. Durante la fermentación de la materia orgánica el calor aumenta por ende la temperatura interna también aumenta y la temperatura ambiente disminuye por efecto de la altura, es por esto conveniente recolectar el agua del lavado de las instalaciones pecuarias y sanitarias del

hogar para introducirlas en el reactor durante las horas más cálidas del día o se puede realizar el lavado con agua tibia utilizando calentadores solares (Preston R. B., 1987). “Las bacterias metagógicas son muy sensibles a cambios de temperaturas, es por esto que al existir cambios de temperatura bruscos y prolongados puede bajar el pH y baja producción de biogás produciendo un mal funcionamiento en el biodigestor” (Dominguez, 2001).

- **pH:** El rango óptimo para que un reactor actúe de forma eficiente es un pH neutro de 6.5 a 7.5. Si el pH se vuelve ácido las bacterias metagógicas no pueden actuar de forma adecuada entonces aumenta la proporción de gas carbónico, además la degradación bacteriana disminuye o se detiene (Taiganides.J, 1963). Los ácidos grasos disminuyen la alcalinidad, la alcalinidad permite una amortiguación suficiente, un pH por encima del 7 es alcalino y debajo del 7 es ácido. El pH afecta a la actividad enzimática de los microorganismos por esto debe mantenerse en un rango neutro (Perez J. , 2010). Cuando los valores pasan un pH 8 se entiende que hay un exceso de compuesto alcalino y la carga se puede pudrir, un pH debajo del 6 indica que hay un desequilibrio entre las fases ácidas y metagógica para evitar esto es importante no incluir cítricos dentro de los desechos orgánicos (Tavizón, 2010). En algunos casos la acidez puede corregirse añadiéndole agua con cal en la fase líquida, la acidez se produce por un cambio excesivo en la carga, ausencia de carga durante un largo periodo, presencia de productos tóxicos y un cambio brusco de temperatura interna (Preston R. B., 1987). Para estabilizar el pH dentro del biodigestor se debe detener la carga o alimentación del reactor por varios días o adicionar sustancias tampones o buffer como cal viva, cal apagada, carbonato de calcio manteniendo el ritmo de carga del digestor (Dominguez, 2001).

- **Mezclado:** El mezclado es de gran importancia en el control de pH y para mantener condiciones ambientales adecuadas. El mezclado distribuye los agentes amortiguadores dentro del biodigestor y previenen que las sustancias se acumulen (Droste, 1997). “La agitación permite el contacto entre bacterias, materia prima y compuestos intermedios, además una constante mezcla favorece el aumento de producción de metano, evita la formación de espumas, sedimentación de la materia e impide la formación de zonas muertas” (Lorena Decara, 2004).
- **Tiempo de Retención Hidráulico:** El tiempo de retención es el tiempo que la materia orgánica está dentro del reactor, desde que entra hasta que sale (Lorena Decara, 2004). La temperatura y el tipo de sustrato que ingresa al biodigestor son factores de gran influencia en el tiempo de retención ya que los tiempos pueden ser mayores o menores a medida que se degradan los desechos. Los valores de diseño para un tratamiento convencional varían entre 40 y 15 días con un factor de seguridad de 5 (METCALF, 2003).
- **Presión:** A medida que se va formando el gas en el reactor la presión aumenta y esto se registra con un manómetro en una escala de 30 psi (Tavizón, 2010).
- **Humedad:** para lograr la fermentación es importante el agua, entonces la proporción de sólidos o materia seca con la cantidad de agua deben ser bien controlados (Preston R. B., 1987).

Como ya se mencionó es importante mantener la temperatura constante, se debe evitar la entrada de aire para que no se creen organismos que detienen la fermentación, las bacterias necesitan de alimentación continua es mejor darles más carbono que nitrógeno, el exceso de acidez mata las bacterias es por esto que esto debe ser controlado (Elizondo, 2005).

4.2 Tipos de Biodigestores

Los reactores tienen distintas formas geométricas, tamaños y materiales donde se almacena residuos orgánicos, desechos animales, humanos, material vegetal, etc. Los chinos utilizan biodigestores desde hace más de 1000 años, comenzaron a utilizarlo para el tratamiento de lodos en aguas residuales urbanas (Barnes, 2000).

Sin importar el tipo o la forma de biodigestor todos tienen 5 partes en común que son: la pila de carga es la entrada donde se introduce todo el alimento del tanque digestor, el digestor que es un tanque hermético que tiene la entrada y salida de desechos, cubierta plástica sirve para cubrir al tanque y evitar la entrada de oxígeno, tubería, válvula y llave de paso, la tubería permite aprovechar el biogás, la válvula evita la sobre presión interna y elimina agua condensada en la tuberías, la llave permite el paso del gas (Elizondo, 2005).

Los biodigestores se clasifican en base al proceso o modo de operación y a la capacidad de carga del mismo, existen biodigestores de bajo costo que son aquellos que no requieren de sistemas activos de calefacción y mecanismos móviles de mezcla (Martí J. , 2010), a continuación se indican los tipos de biodigestores más comunes.

- **Biodigestor para Tratamiento Anaeróbico Convencional:** Consiste en un reactor de mezcla completa con un sistema de agitación que mantiene los sólidos en suspensión. Los agitadores suelen ser mecánicos para evitar la sedimentación de sólidos y mantener una distribución homogénea en fase acuosa (WPCF, 1979). Este reactor debe ser grande puesto que se controla por medio de la tasa de alimentación y las bacterias metanógenas deben actuar y degradar los alimentos, las tasas de carga no deben ser menores al tamaño de diseño ya que puede dañar el proceso (Droste, 1997).

- **Biodigestor de Sistema Bach:** Se lo conoce también como discontinuo, la carga se realiza una sola vez y la descarga ocurre cuando se termina de producir biogás, siempre debe tener materia lista para procesar. Son utilizados en laboratorios para analizar el comportamiento de residuos orgánicos (Rodríguez, 2013).
- **Biodigestor de Mezcla Completa:** Por medio de un sistema de agitación se tiene una mezcla uniforme, funciona en régimen continuo o semi continuo y se lo utiliza para el tratamiento de residuos, la degradación se completa después de un largo tiempo puesto que la concentración de materia dentro del reactor es baja (Energía, 2007). Los reactores anaerobios de contacto utilizan digestores de mezcla completa, estos digestores se parecen al tratamiento de lodos activados pero la degradación de sólidos es más controlado.
- **Biodigestor Semi Continuo:** Se carga continuamente una vez al día o pasando dos días. El uso puede ser sanitario o de producción. Son biodigestores pequeños se los utiliza en zonas rurales por su fácil instalación. El diseño puede ser de tipo hindú o chino (Rodríguez, 2013).

El diseño hindú tiene forma de tambor, su tapa flotante permite acumular el biogás, se alimenta de forma semi continua a través de una tubería en la entrada. La cubierta flotante permite mantener una presión constante, se lo construya en acero para evitar problemas de corrosión, no necesita gasometro para almacenar el biogas (Quimbaya, 2005).

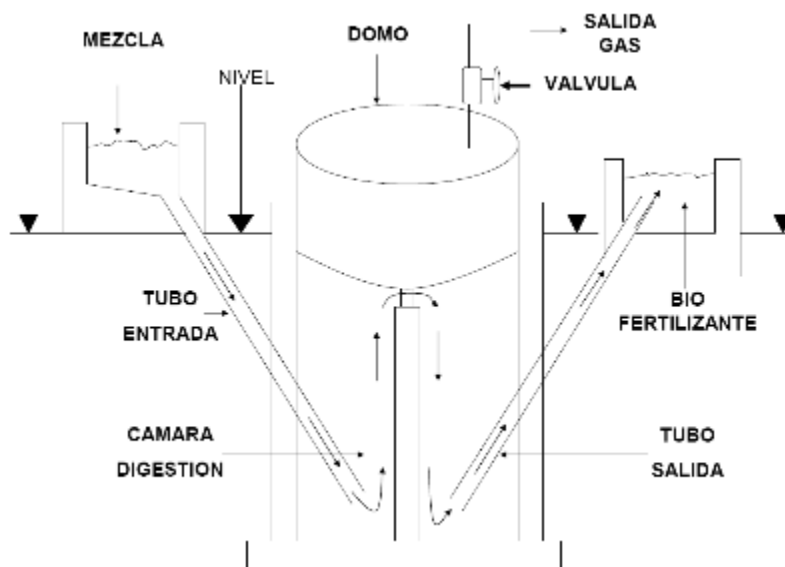


Figura 4.1 Biodigestor Diseño Hindú

El diseño Chino tiene una cubierta que es fija y almacena poco volumen de biogás. Es una estructura rígida construida en piedra, ladrillo u hormigón es por esto que requiere de calidad en sus materiales y de mano de obra por lo que suele ser más costoso (Quimbaya, 2005). La tapa y la base son semi esferas y son unidos por los lados rectos, su cúpula es fija en forma cilíndrica y no posee gas integrado por ende al aumentar el biogás aumenta la presión en el interior.

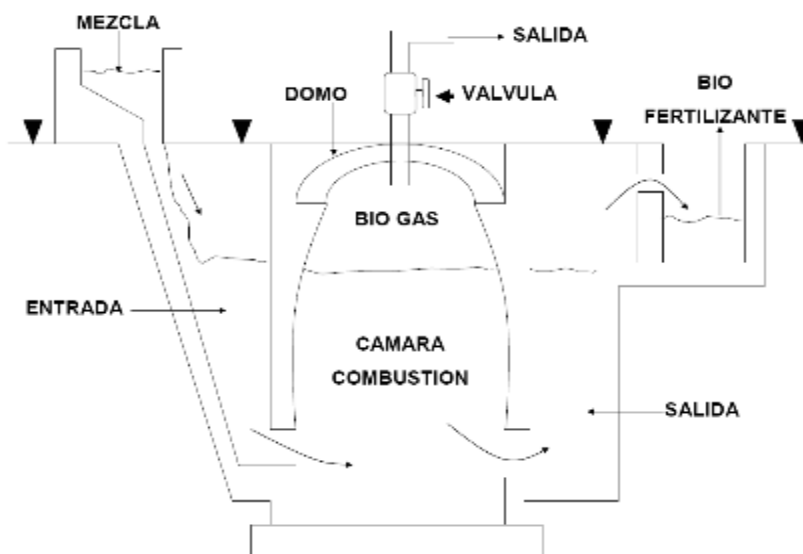


Figura 4.2 Biodigestor Diseño Chino

- **Biodigestor Continuo:** Se cargan continuamente, se enfocan en el tratamiento de aguas residuales. Sirven más en la industria ya que necesitan de calefacción y agitación para almacenar grandes cantidades de biogás. Controla la digestión de manera más precisa, cuando se vacía el digestor inicia otra vez el proceso de degradación, lamentablemente la limpieza de los sedimentos es complicada, se suele generar espumas e incrustaciones, la alimentación puede ser de distintos sustratos para la generación de gas natural (Guevara, 1996).
- **Biodigestor de lodo de flujo ascendente (UASB):** Este tipo de reactores tiene un dispositivo en la parte superior del reactor, para separar la biomasa, el biogás y el efluente tratado, es de gran ayuda en la industria pues acumula grandes cantidades de biomasa muy activa (Martinez, 2011). Estos reactores forman lodo de tipo granular, por lo que su arranque es más difícil que un reactor de mezcla completa y requiere de un manejo cuidadoso para el desarrollo del lecho de lodos (Droste, 1997).
- **Biodigestor anaerobio en serie (ASBR):** Funciona a través de lotes secuenciales, su operación es mejor que los reactores de sistemas continuos, consta de cuatro etapas como alimentación, reacción, sedimentación y descarga. Durante la alimentación el agua residual a tratar contiene materia orgánica y es introducida en el biodigestor, en la segunda etapa existe una variación de la concentración de los componentes, en la sedimentación se separa los sólidos de los líquidos en el interior del reactor. Estos reactores son más beneficiosos para el tratamiento de aguas residuales y presentan ventajas cinéticas (Rosenkranz, 2013).

- **Biodigestor Anaerobio con Deflectores ABR:** Es una fosa séptica mejorada debido a la serie de deflectores, los sólidos de sedimentación son eliminados en la cámara de sedimentación. Estos reactores están conectados con deflectores en serie que fuerzan el paso del agua entre ellos (Martinez, 2011).
- **Biodigestor Lecho Fluidizado:** El soporte que utiliza es inerte y no fijo lo que permite grandes concentraciones de biomasa. Tiene una estructura cilíndrica y su proceso empieza con la circulación ascendente del efluente. No tiene problemas de difusión sin embargo para lograr su homogeneidad se debe regular el flujo de entrada del digestor (Avedaño, 2010).
- **Biodigestor con Sistemas de Dos Etapas:** Consiste en dos reactores, el primero es discontinuo y tiene un elevado tiempo de retención y se la el proceso de hidrolisis, en esta etapa el pH es bajo va de 5 a 6. El segundo tiene bajo tiempo de retención, en este se digiere la materia orgánica y se da el proceso de metagógenesis y acetogénesis, en esta etapa el pH es neutro para efectuar la producción de metano (Avedaño, 2010).
- **Biodigestor Modelo Horizontal:** Son de forma rectangular o cuadrada, la mayoría son en hormigón armado, se usa para el saneamiento de descargas cloacales pues su forma alargada permite una fermentación óptima (Guevara, 1996).

4.3 Aprovechamiento del Biogás y Residuos En el Biodigestor

Lo que hace del biodigestor una solución amigable al medio ambiente es la generación de biogás. El biogás se lo conoce como gas de los pantanos pues se genera de forma natural en los pantanos donde la materia orgánica enterrada en el lodo sufre una digestión anaerobia por las bacterias, los reactores se encargan de simular este proceso natural para que las bacterias transformen la biomasa en biogás y fertilizantes de forma controlada (Martí J. , 2010).

El biogás tiene altas concentraciones de metano por ende se lo utiliza para cocinar, iluminar o calentar. La ventaja del biogás es que al quemar no produce humus previniendo así las enfermedades respiratorias, al introducir los desechos en el biodigestor se eliminan malos olores y se reduce el aumento de plagas.

El biogás es una mezcla de distintos gases con gran cantidad de metano y concentraciones más pequeñas como dióxido de carbono, ácido sulfhídrico, hidrogeno, nitrógeno, amoniaco, entre otros. La composición del biogás depende de la materia orgánica digerida y las condiciones del proceso (Avedaño, 2010).

Componente	Formula	Unidad	Aguas Residuales	Residuos Agrícolas	Gas de Vertedero
Metano	CH ₄	% volumen	65-75	45-74	45-55
Dioxido de Carbono	CO ₂	% volumen	25-35	25-55	25-30
Monóxido de Carbono	CO	% volumen	<0.2	<0,2	<0,2
Hidrógeno	H ₂	% volumen	trazas	0,5	0
Ácido Sulfhídrico	H ₂ S	mg/NM3	<8000	10.-30	<8000
Amoniaco	NH ₃	mg/NM4	trazas	0,01-2,50	trazas
Nitrógeno	N ₂	% volumen	3.4	0,01-5,00	10.-25
Oxígeno	O ₂	%volumen	0.5	0,01-2,00	1.-5
Compuestos Orgánicos	-	mg/NM3	<0.1-0.5	trazas	<0,1-5,0

Tabla 4.2 Composición media del biogás de acuerdo al sustrato utilizado **Fuente:** (Botero, 1987)

El biogás presenta distintos usos pues sirve como combustible en lugar del gas propano, para cocinar, para la calefacción de aves y también para iluminar utilizando lámparas incandescentes.

Adicionalmente este gas natural sirve como combustible en refrigeradores, calentadores de agua o en motores disminuyendo el consumo de gasolina o diésel (Botero, 1987).

4.3.1 Bio Abono o Biol o Fertilizante Orgánico.

En la actividad agrícola los cultivos se alimentan del aire y de los nutrientes del suelo, sin embargo si en el suelo falta algún nutriente los fertilizantes se encargan de dar a las plantas condiciones adecuadas para que se desarrollen de forma efectiva y resulte una buena cosecha (Bermudez, 2002). Un uso inadecuado de fertilizantes químicos produce excesiva contaminación en el ambiente, agua y suelo, es por esto que una nueva alternativa es el uso de bio fertilizantes.

Cuando se carga el biodigestor con biomasa y agua se pueden producir más de 80 litros de biol. El biol es un fertilizante líquido que sustituye el fertilizante químico. Este bio fertilizante mejora la producción en un 30% a 50% (Martí J. , 2010).

El bio abono solido o líquido reduce malos olores, elimina bacterias patógenas, minora la viscosidad por ende es mejor que el estiércol fresco. El Biol es un fertilizante de producción casera y está compuesto por nutrientes (N, P, K, Ca, S) y hormonas. Al introducir especies vegetales en el proceso de fermentación el biol se convierte en bio plaguicida y reduce el ataque de ciertas plagas y enfermedades, este fertilizante estimula el crecimiento de las plantas, aumenta el rendimiento y mejora la calidad de los productos, recupera al cultivo luego de las heladas, la aplicación es fácil y no se necesita protección (Pablo Mamani, 2007).

5 EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

El paso de los años han marcado grandes cambios en el desarrollo de las civilizaciones, es decir en los últimos años se han evidenciado cambios como el aumento poblacional, problemas de salud y enfermedad, crisis energéticas, la degradación del medio ambiente (Adriana Pascual, 2010). Las necesidades básicas que realizan las personas contaminan el ambiente puesto que el tratamiento y disposición de desechos es inadecuado en muchas partes del país. Por estos problemas que estamos atravesando es importante establecer un equilibrio entre el desarrollo de la actividad del hombre y el medio ambiente, esto se logra controlando los proyectos ya que cada proyecto causa una perturbación al ambiente y esto se puede controlar mediante la Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) (Conesa, 2010). Entre los factores que alteran el medio ambiente se puede mencionar los siguientes:

- ✚ La demanda de espacios y servicios como consecuencia del aumento poblacional.
- ✚ Degradación del medio natural debido a la contaminación y mala gestión de los recursos atmosféricos, hidráulicos, geológicos, etc.
- ✚ Extinción de especies vegetales y animales.
- ✚ Mal manejo de desechos o residuos de origen urbano e industrial.

El Banco Mundial categoriza los proyectos en función del impacto ambiental que pueden causar y se enlistan a continuación:

Proyecto A: Son proyectos que producen impactos ambientales importantes y diversos, requieren estudios completos de impacto ambiental.

Proyecto B: Proyectos con un impacto ambiental moderado y presenta soluciones prácticas y aplicables.

Proyecto C: No producen impactos ambientales significativos, no requieren de estudios de impacto ambiental.

Proyecto D: Mejoran la calidad del ambiente y conservan los recursos naturales, el impacto ambiental se estudia en casos especiales.

Los proyectos de biodigestor a pesar de ser una tecnología relativamente nueva no produce impactos ambientales significativos, mejora el tratamiento de aguas residuales sin alterar el ecosistema de los seres vivos, es por esto se considera como un proyecto tipo C, además un biodigestor reduce la contaminación ambiental y permite la utilización de energía limpia.

Es importante realizar un estudio de posibles alternativas que nos permite prevenir los posibles deterioros ambientales y si es necesario plantear otras propuestas viables a la propuesta en estudio. Es importante que las alternativas sean viables y económicas, además se las debe considerar durante la ejecución del proyecto y en el transcurso de la vida útil.

5.1 Leyes Medioambientales

La constitución política de la república del Ecuador establece lo siguiente:

Art. 415: Sección Séptima, Biosfera, ecología urbana y energías alternativas. El estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, todo daño ambiental se sanciona y se debe restaurar los ecosistemas e indemnizar a personas y comunidades afectadas.

Art 20. Toda Actividad que supone riesgo ambiental debe tener la licencia ambiental otorgada por el Ministerio de Salud y Ambiente.

Art 6: Determina que el saneamiento ambiental son un conjunto de actividades que acondicionan y controlan el medio ambiente el que vive el hombre, a fin de proteger su salud.

Art 22. Los propietarios de toda vivienda deben conectar su sistema de alcantarillado a un sistema de eliminación de excretas, aguas servidas y de disposición y tratamiento final.

La norma de descarga de aguas residuales, protege la calidad de las aguas nacionales y posibilita el uso posterior. Regula cuerpos receptores como ríos, acuíferos, embalses, humedales. Esta norma permite contaminar un bien de la nación a cambio de un pago.

Para el diseño y construcción de este tipo de proyecto se debe considerar las ordenanzas del municipio de Quito y las leyes y reglamentos ambientales que se mencionan a continuación:

- Ordenanzas Municipales de Quito
- Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre.
- Ley de Prevención y Control de Contaminación Ambiental.
- Ley de Gestión Ambiental.
- Reglamento para el Manejo de los Desechos Sólidos.

5.2 Impactos Ambientales causados por un Biodigestor

A continuación se describen los impactos negativos y positivos, que se producen durante la fase de estudio, construcción y funcionamiento.

Impactos Positivos

- El biodigestor reduce la tala de árboles disminuyendo la deforestación.
- Reduce las emisiones de gases de efecto invernadero.
- El modelo de biodigestor descompone los contaminantes que vienen de actividades agrícolas.
- No existe pérdida de fauna y flora.
- Aumenta la plusvalía en el sector por el funcionamiento de una tecnología que contribuye a disminuir la contaminación.
- Aumento temporario de la tasa de empleo en el lugar.
- Aumento de la higiene y seguridad por construcción del biodigestor.


Impactos Negativos

- En la fase de construcción se genera ruido y polvo provocado por el movimiento de materiales y maquinaria.
- Generación de desechos durante la instalación de tuberías.
- Alteración de la composición microbiología del suelo al descargar el agua tratada en el mismo.
- Aumento del peligro de erosión por remoción de capas del suelo.
- Riesgos de Accidentes energéticos al instalar maquinaria.

5.3 Métodos para Realizar la EIA

Todo alcance y extensión de una EIA debe seguir una serie de fases y metodologías que se refiere a impactos ambientales específicos. Existen distintos motivos que no permiten la consecución de una metodología estándar esto se da por el cambio de factores afectados, se debe emplear un solo tipo de método de acuerdo a la actividad, existen varios métodos sobre un mismo factor. Existen diversos métodos para la evaluación del impacto sobre el medio ambiente o sobre alguno de sus factores (Conesa, 2010). A continuación se describe el más utilizado:

- **Matriz de Leopold:** Este método consiste en un cuadro de doble entrada en donde las filas son los factores ambientales que pueden ser afectados y en las columnas la causa de los posibles impactos. Los factores ambientales importantes que deben estar presentes son:
 - ✚ **Características físico- químicas:** Tierra, agua, atmosfera, procesos
 - ✚ **Condiciones biológicas:** flora, fauna
 - ✚ **Factores Culturales:** usos del territorio, recreativos, estéticos y de interés humano, servicios e infraestructura.

 **Relaciones Ecológicas:** Salinización, eutrofización, enfermedades, cadenas alimentarias, invasiones de maleza.

Este método es el más usado para realizar análisis de impacto ambiental. Este identifica el impacto potencial del proyecto, las intersecciones de los factores humanos vs factores naturales se llenan con valores del 1-10, la magnitud considera el signo. Una vez asignados valores a la matriz se suma para ver qué acción es más beneficiosa o más dañina y ver el factor ambiental más afectado y proponer soluciones.

- 1 a 3 Efectos negativos bajos.

- 4 a 7 Efectos moderados o medios.

-8 a 10 Efectos negativos altos.

MATRIZ DE LEOPOLD- DISEÑO DE UN BIODIGESTOR																				
Factores Ambientales			CONSTRUCCION						OPERACION						MANTENIMIENTO		IMPORTANCIA TOTAL DEL IMPACTO	MAGNITUD TOTAL DEL IMPACTO		
			LIMPIEZA Y DESGLOCE		MOV. TIERRAS		CONSTRUCCIÓN ESTRUC.		INSTALACION DE TUBERIAS		RECOLECCIÓN DE AGUAS RESIDUALES		TRATAMIENTO		DESCARGA				LIMPIEZA	
			M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I			M	I
Abióticos	Agua	Drenaje de Agua	-1	1			-1	1	-1	1	-1	1	-1	1				5	-5	
		Contaminación de Agua	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1						5	-5	
	Aire	Contaminación de Aire	-1	1	-1		-1	1	-1	1							-1	1	4	-5
		Contaminación del suelo	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1					-1	1	6	-6
	Suelo	Perdida de Capacidad de carga del suelo	-2	2	-1	1	-1	1	-2	2									6	-6
		Variación de pendiente	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1									4	-4
Ruido	Ruido y Vibraciones	-2	2	-3	3	-1	1	-1	1							-1	1	8	-8	
Bióticos	Flora		-1	1	-1	1	-1	1	-1	1			-2	2				6	-6	
	Fauna		-1	1	-1	1	-1	1	-1	1			-2	2				6	-6	
Factores Culturales	Estético	Vistas Puntuales	-1	1	-1	1	-2	2	-1	1								5	-5	
	Territorio	Plusvalía					-4	4	-1	1								5	-5	
	Servicios	Producción Biogas					-1	2			-3	4			-1	1		7	-5	
		Fertilizante					-1	2			-3	4			-1	1		7	-5	
Socio - Economico	Empleo y Economía Local		-3	3	-4	3	-3	2	-2	3						-1	2	13	-13	
	Comunidad		-2	2	-2	2	-3	3	-1	1								8	-8	
																TOTAL PROYECTO	95	-92		

Tabla 5.1 Matriz de Leopold para el Biodigestor **Elaborado por:** Gabriela García.

Los espacios vacíos significan que no se genera ningún impacto, por ejemplo ruido y vibraciones en la etapa de operación, no generara ruidos, por eso este espacio es en blanco.

En la Matriz realizada se puede ver que los impactos que genera el proyecto de biodigestor son mínimos y se puede controlar. Las consecuencias más significativas se dan en la etapa de construcción, en esta etapa se produce la contaminación del aire por los polvos que se producen, sin embargo esto es un daño leve y temporal. Además por el periodo de construcción se espera un aumento de empleo en beneficio de la comunidad. Esta matriz también indica una contaminación de suelo y agua, esto será en la etapa de construcción y para esto se debe tener un control eficiente de los residuos que quedan después de la obra.

5.3.1 Listas de Chequeo.

Son de gran ayuda para evaluaciones preliminares, destacan los impactos más importantes en todas las áreas impactadas. Estas listas deben tener un informe detallado de los factores ambientales considerados. Existen varios tipos de listas según el grado de detalle que se hay en el estudio de evaluación (Conesa, 2010). A continuación se presenta una lista de chequeo simple:

- **Listas de chequeo Simple:** Identifica los impactos directos de forma amplia y flexible. Identifican como el proyecto influye en factores físicos, bióticos y socioeconómicos sin embargo no toma en cuenta impactos indirectos ni registran relaciones causa y efecto entre las acciones del proyecto.

N°	Acciones del proyecto o actividad	SI	NO	POSIBLE
1	Descarga de agua residual en el río		*	
2	Generación de ruidos	*		
3	Producción de olores desagradables		*	
4	Emisión de polvo	*		
5	Tala de árboles		*	
6	Disminución del confort de los trabajadores por el polvo generado			*
7	Alteración de composición microbiológica del suelo debido a la infiltración de agua			*
8	Aumento de recursos culturales por implementar una tecnología que disminuye la contaminación	*		
9	Reducción del gasto energético	*		
10	Alteración de la estructura del suelo por remoción de capas de suelo			*
11	Aumento del peligro de erosión			*
12	Aumento temporario de la tasa de empleo	*		
13	Disminución de la calidad del paisaje y visuales por presencia del biodigestor		*	
14	Riesgo de accidentes hidráulicos por construcción del biodigestor			*
15	Aumento de la higiene y seguridad por construcción del biodigestor	*		

Tabla 5.2 Lista de chequeo simple del Biodigestor de Estudio.

5.4 Matriz de Importancia

Una vez identificado los factores del medio que posiblemente serán impactados, la matriz de importancia obtienen una valoración cualitativa establecido por la EIA, la valoración cualitativa se efectúa a través de la matriz de impactos. Los elementos de la matriz de importancia identifican la importancia I_{ij} del impacto ambiental generado por una acción simple de una actividad A_i sobre un factor considerado F_j (Conesa, 2010).

La importancia del impacto o índice de incidencia es la manera en que se mide cualitativamente el impacto ambiental en función del grado de incidencia o intensidad de la alteración producida. Los elementos o casillas de cruce de la matriz estarán ocupados por once símbolos que se describen a continuación:

- **Signo +- :** El impacto es positivo cuando mejora la calidad ambiental y es negativo cuando disminuye la calidad ambiental del factor considerado.
- **Intensidad In:** Expresa el grado de destrucción del factor ambiental y reciben el nombre de impacto de intensidad alta, media, baja, muy alta, muy baja, etc.
- **Extensión Ex:** expresa la fracción del medio afectada por el proyecto, es decir el área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto.
- **Momento Mo:** Es el tiempo que transcurre entre la aparición de la acción t_0 y el comienzo del efecto t_j . El periodo va de 1 a 10 años y se le asignan valores si es a largo plazo el valor asignado es 1, medio plazo 2, corto plazo 3 y efecto nulo 4. El tiempo se calcula de la siguiente forma: $t_m = t_j - t_0$.
- **Persistencia o duración PE:** el tiempo en que tarda el factor afectado en volver a sus condiciones iniciales. Existe el impacto temporal que dura un tiempo limitado y el

impacto permanente que se manifiesta de forma continua en un tiempo ilimitado. Si la permanencia es menos de un año el efecto es momentáneo y se le asigna un valor de 1, de 1 a 10 años temporal con un valor de 2, de 1 a 15 años duradero 3, más de 15 años permanente 4.

- **Reversibilidad RV:** mide la posibilidad de reconstrucción del factor afectado. El impacto es reversible si el factor ambiental puede retornar a sus condiciones iniciales e irreversibles cuando el factor ambiental no puede retornar a sus condiciones iniciales. La valoración es a corto plazo 1, medio plazo 2, largo plazo 3 y si es irreversible 4.
- **Recuperabilidad MC:** Posibilidad de reconstrucción total o parcial del factor afectado.
- **Sinergia SI:** Se refiere a la acción de una o más causas cuyo efecto es superior a la suma de los efectos individuales. Son efectos acumulativos.
- **Acumulación AC:** Incremento progresivo de la manifestación del efecto cuando la acción que lo genera persiste.
- **Efecto EF:** Se refiere a la relación causa y efecto, puede ser directo o indirecto cuando son producidos por un impacto anterior, toma un valor 1 cuando es indirecto o 4 cuando es directo.
- **Periodicidad PR:** Es la regularidad de manifestación del efecto, puede ser continua si es constante en el tiempo y discontinua si las acciones se producen de manera regular o irregular esporádicamente. Los efectos continuos tienen un valor 4, periódicos 2, irregular 1.

5.5 Importancia del Impacto

Según Conesa la importancia del impacto es: “la importancia del efecto de una acción sobre un factor ambiental”. La importancia del impacto se da por medio de la siguiente ecuación:

$$I = \pm[3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC]$$

La importancia toma valores entre 13 y 100.

Presenta valores entre 40 y 60 cuando se da alguno de estos casos:

- ✓ Intensidad total y afección de los símbolos restantes.
- ✓ Intensidad muy alta o alta.
- ✓ Intensidad alta, efecto irrecuperable y afección muy alta de alguno de los restantes símbolos.
- ✓ Intensidad media o baja, efecto irrecuperable y afección alta de dos de los restantes símbolos.

Los impactos menores a 25 son irrelevantes, los impactos moderados están entre 25 y 50, los severos entre 50 y 75, y los críticos mayor a 75.

A continuación una **Tabla 5.4** de la Importancia del Impacto:

Naturaleza		Intensidad IN	
		grado de destrucción	
		Baja	1
Impacto beneficioso	+	Media	2
Impacto perjudicial	-	Alta	4
		Muy Alta	8
		Total	12
Extension EX		Momento MO	
Area de Influencia		Plazo de Manifestación	
Puntual	1	Largo plazo	1
Parcial	2	Medio Plazo	2
Amplio	4	Corto plazo	3
Total	8	Inmediato	4
Crítico	>4	Crítico	>4
Persistencia PE		Reversibilidad RV	
Permanencia del efecto		Reconstrucción por medios naturales	
Fugaz o efímero	1	Corto plazo	1
Momentáneo	1	Medio Plazo	2
Temporal	2	Largo plazo	3
Persistente	3	Irreversible	4
Permanente	4		
Sinergia SI		Acumulación AC	
Potenciación de la manifestación		Incremento progresivo	
Sin sinergismo	1	Simple	1
Sinergismo moderado	2	Acumulativo	4
Muy Sinérgico	4		
Efecto EF		Periodicidad PR	
Relación Causa Efecto		Regularidad de la Manifestación	
Indirecto	1	Irregular	1
Directo	4	Periódico	2
		Continuo	4
Recuperabilidad MC		Importancia I	
Reconstrucción por medios humanos		Grado de manifestación cualitativa del efecto	
Recuperable de manera:		$I = \pm(3IN + 2EX + MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$	
Inmediata	1		
Corto Plazo	2		
Medio Plazo	3		
Largo plazo	4		
Sustituible	4		
Irrecuperable	8		

Tabla 5.3 Importancia del Impacto **Fuente:** Conesa, 2010

MATRIZ DE IMPORTANCIA													
FASE DE CONSTRUCCIÓN													
MEDIO	ELEMENTOS A SER ALTERADOS	MOVIMIENTO DE TIERRAS										NATURALEZA	IMPORTANCIA I
		3IN	2EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC		
SUELO	USO	2	2	4	1	2	2	1	4	1	1	-	-26
	CALIDAD	2	2	4	2	1	1	1	4	1	1	-	-25
AIRE	CALIDAD	4	2	4	1	1	2	4	1	1	1	-	-31
	RUIDOS Y VIBR.	4	4	4	2	1	2	1	4	1	1	-	-36
PAISAJE	VISTAS PUN.	2	4	4	4	2	2	1	4	1	1	-	-33
BIOTICOS	FLORA	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	-	-19
	FAUNA	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	-	-17
SOCIO EC.	SALUD	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	-	-21
	EMPLEO	IMPACTO BENEFICIOSO											
ESTIBAMIENTO DE ZANJAS Y EXCAVACIÓN													
MEDIO	ELEMENTOS A SER ALTERADOS	3IN	2EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC	NATURALEZA	IMPORTANCIA I
AGUA	CALIDAD	2	1	4	1	1	1	1	1	1	1	-	-19
PAISAJE	VISTAS PUN.	2	2	4	1	1	1	1	1	2	1	-	-22
SOCIO EC.	EMPLEO	IMPACTO BENEFICIOSO											
INSTALACIÓN DE TUBERÍAS													
MEDIO	ELEMENTOS A SER ALTERADOS	3IN	2EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC	NATURALEZA	IMPORTANCIA I
SUELO	CALIDAD	2	2	3	1	1	1	1	1	1	1	-	-20
PAISAJE	VISTAS PUN.	2	2	2	1	1	1	1	4	1	1	-	-22
SOCIO EC.	SALUD	3	3	2	2	2	1	1	1	1	1	-	-26
	EMPLEO	IMPACTO BENEFICIOSO											
CONSTRUCCIÓN Y ARMADO DEL BIODIGESTOR													
MEDIO	ELEMENTOS A SER ALTERADOS	3IN	2EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC	NATURALEZA	IMPORTANCIA I
SUELO	USO	2	4	3	2	1	2	1	4	1	1	-	-29
	CALIDAD	4	2	3	2	1	2	1	4	1	1	-	-31
AIRE	CALIDAD	4	4	3	2	1	2	1	4	1	1	-	-35
	RUIDOS Y VIBR.	2	2	3	2	1	2	1	4	1	1	-	-25
PAISAJE	VISTAS PUN.	2	4	2	2	1	1	1	1	1	2	-	-25
BIOTICOS	FLORA	1	2	2	2	1	1	1	1	1	2	-	-18
	FAUNA	1	2	2	2	1	2	1	1	2	2	-	-20
SOCIO EC.	SALUD	2	4	2	2	1	1	1	4	1	2	-	-28
	EMPLEO	IMPACTO BENEFICIOSO											

FASE DE OPERACIÓN													
MEDIO	ELEMENTOS A SER ALTERADOS	RECOLECCION DE AGUAS RESIDUALES										NATURALEZA	IMPORTAN- CIA I
		3IN	2EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC		
AGUA	CALIDAD	2	1	4	2	2	2	1	1	2	2	-	-24
AIRE	MAT. PARTICULADO	1	1	4	2	2	2	1	1	2	2	-	-21
PAISAJE	VISTAS PUN.	1	1	4	1	1	1	1	1	2	2	-	-18
SOCIO EC.	SALUD	1	1	4	2	2	2	1	4	2	2	-	-24
	EMPLEO	IMPACTO BENEFICIOSO											
OPERACIÓN DEL BIODIGESTOR													
MEDIO	ELEMENTOS A SER ALTERADOS	OPERACIÓN DEL BIODIGESTOR										NATURALEZA	IMPORTAN- CIA I
		3IN	2EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC		
AGUA	CALIDAD	2	2	4	1	1	1	1	4	2	1	-	-25
AIRE	CALIDAD	2	2	4	1	2	2	4	4	2	1	-	-30
PAISAJE	VISTAS PUN.	2	1	4	1	2	2	1	4	2	2	-	-26
SOCIO EC.	SALUD	1	1	1	2	2	1	4	4	2	2	-	-23
	EMPLEO	IMPACTO BENEFICIOSO											
DESCARGA													
MEDIO	ELEMENTOS A SER ALTERADOS	DESCARGA										NATURALEZA	IMPORTAN- CIA I
		3IN	2EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC		
SUELO	USO	2	2	4	1	1	2	1	4	4	1	-	-28
	CALIDAD	2	2	4	1	1	2	1	4	4	1	-	-28
AGUA	CALIDAD	2	2	4	1	1	2	4	4	1	1	-	-28
	RUIDOS Y VIBR.	2	2	4	1	1	2	4	4	1	1	-	-28
BIOTICOS	FLORA	2	2	4	1	1	2	1	1	1	1	-	-22
	FAUNA	2	2	4	1	1	2	1	1	1	1	-	-22
SOCIO EC.	SALUD	2	4	4	1	1	2	4	4	1	1	-	-32
	EMPLEO	IMPACTO BENEFICIOSO											
FASE DE MANTENIMIENTO													
MEDIO	ELEMENTOS A SER ALTERADOS	LIMPIEZA DE TUBERÍAS Y COLECTORES										NATURALEZA	IMPORTAN- CIA I
		3IN	2EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC		
SUELO	USO	2	2	4	1	1	1	1	1	1	1	-	-21
	CALIDAD	2	2	4	1	1	1	1	1	1	1	-	-21
PAISAJE	VISTAS PUN.	2	2	4	1	1	1	1	1	2	1	-	-22
SOCIO EC.	SALUD	2	2	3	1	1	1	1	4	2	1	-	-24
	EMPLEO	IMPACTO BENEFICIOSO											
LIMPIEZA DEL BIODIGESTOR													
MEDIO	ELEMENTOS A SER ALTERADOS	LIMPIEZA DEL BIODIGESTOR										NATURALEZA	IMPORTAN- CIA I
		3IN	2EX	MO	PE	RV	SI	AC	EF	PR	MC		
SUELO	CALIDAD	2	2	4	2	2	2	1	4	2	2	-	-29
AIRE	RUIDOS Y VIBR.	2	2	4	1	1	1	1	1	2	1	-	-22
PAISAJE	VISTAS PUN.	1	1	4	1	1	1	1	4	2	1	-	-20
SOCIO EC.	SALUD	4	1	1	4	2	2	4	4	4	4	-	-39
	EMPLEO	IMPACTO BENEFICIOSO											

Tabla 5.4 Matriz de Importancia de la fase de construcción, operación y mantenimiento del biodigestor. **Elaborado por:** Gabriela García

Según esta matriz la contaminación por ruido y vibraciones producidas por los equipos y maquinaria es moderada de carácter temporal mientras dura la etapa de construcción.

La contaminación de aire por polvos, movimientos de tierra tiene un impacto moderado, adicionalmente la contaminación del agua en las tres etapas es irrelevante. El impacto del suelo también es moderado y este se puede dar por el movimiento de tierras, generación de desechos y uso de material.

El paisaje en la etapa de construcción tiene una afectación mediana a moderada, con una duración temporal. A final de la obra este impacto es imperceptible puesto que el biodigestor estará debajo del suelo y sera cubierto por una malla y alrededor árboles creando una estética visible agradable al entorno.

La flora y fauna no se ven afectados. Finalmente los factores socio- económico y cultural durante la construcción, operación y mantenimiento proveen empleo a las personas que residen en el sector, el efecto es positivo de gran importancia, en la fase de construcción temporal pero permanente en la fase de operación y mantenimiento.

Finalmente la calidad de vida de los habitantes mejorar de forma permanente al haber un tratamiento adecuado de aguas residuales y la instalación de una nueva tecnología en el sector dará mayor valor a los terrenos y en la utilización de biogás permitirá un ahorro de energía eléctrica.

5.6 Medidas de Mitigación

A continuación se presentan algunas medidas de mitigación, que permiten un funcionamiento óptimo en todas las etapas.

- En la etapa de construcción cuando la tierra sea removida es importante humedecerla para la disminución de polvo.
- Se debe colocar una señalización correcta para el paso de volquetas y maquinaria.
- Los biodigestores deben cercarse para evitar daños en el sistema.
- Se requiere del mantenimiento y limpieza de las tuberías, para asegurarse que el tubo de salida no este bloqueado.
- Considerar medidas necesarias para que los desechos en la fase de construcción no desemboquen en ríos o cualquier fuente de agua y así un manejo adecuado de escombros, es decir todo lo que no se reutilice en la construcción se manda a escombreras autorizadas.
- Los trabajos de excavación se deben realizar en el día para no molestar con ruidos en horas de descanso a la población.
- En el lavamanos o inodoro se debe evitar botar agua, porque la grasa tapa las tuberías y el tanque.
- No botar colilla de cigarrillo, toallas sanitarias, pañales, plástico puesto que esto no se descompone y se acumulan en el tanque disminuyendo así su vida útil.
- No se debe utilizar compuestos químicos para limpiar las tuberías, ya que estos pueden matar los microorganismos que consumen la materia orgánica.

6. METODOLOGÍA

Para la construcción de todo proyecto es necesario establecer el tiempo de vida útil, en el cual la obra funcionara de manera correcta, en este diseño la vida útil será de 20 años que es lo más común en el Ecuador para este tipo de obras. Además se estudia la vida útil de los materiales y equipos que se utilizan en el proyecto, la accesibilidad al sitio donde se encuentra el biodigestor, el crecimiento poblacional influye pues la vida útil del tanque es máxima cuando la población es pequeña de lo contrario un aumento en la población implica un periodo de diseño corto, es importante un estudio de las necesidades socioeconómicas de la población para saber si el proyecto es económicamente viable.

En este caso se propone un biodigestor en forma rectangular, de modelo horizontal construido en hormigón, este sistema está enterrado debajo del suelo, pero la parte superior del biodigestor queda a nivel del suelo. Al biodigestor se le puede implementar el diseño de un gasómetro para que almacene todo el biogás que se genera dentro del mismo, este aparato puede ser construido de hormigón, mampostería o simplemente conectar una manguera con el biodigestor y una bolsa de plástico negra que acumula el biogás, es por esto que el gasómetro puede estar dentro o fuera del biodigestor y se le añade una válvula de salida de gas a la atmosfera.

Mantener la temperatura es de gran importancia en la calidad y cantidad de biogás producido, en este diseño se desea mantener una temperatura ambiente de 17°C lo cual es posible puesto que la parroquia tiene una temperatura media de 17.5°C cuando la temperatura del sector es mayor a 10°C basta con hacer la zanja de excavación donde se colocara el biodigestor, esta puede ser en forma de V para evitar problemas de desmoronamiento, cuando el sitio tiene temperaturas

menores a 10°C se debe realizar un cerco alrededor del reactor para mantener la temperatura (CEDECAP, 2007).

Además se colocan las tuberías de entrada 40cm más arriba del tanque y la tubería de salida es recomendable cavar con un ángulo de 30° las zanjas donde se colocaran los tubos. El agua tratada cubre el terreno de infiltración mediante tuberías que vienen con pequeños orificios para descargar el agua. Esta agua se podría verter en el río más cercano como es el San Pedro, pero en este caso se desea disminuir el costo y el uso de materiales. Para evitar cualquier daño se debe colocar una malla de protección alrededor del biodigestor. Se podría hacer un biodigestor en polietileno que incluso es mucho más económico que en hormigón, sin embargo estos son muy frágiles y tienden a romperse la bolsa de plástico, tiene una vida media de 5 años y el diseño es poco estético.

Los componentes más importantes que tendrá el biodigestor es:

- Tubería donde entran las aguas residuales
- Cámara de Fermentación o cuerpo del reactor
- Cámara de depósito de gas y tubería de salida de gas
- Cámara de salida donde se acumula el bio fertilizante
- Tapa hermética

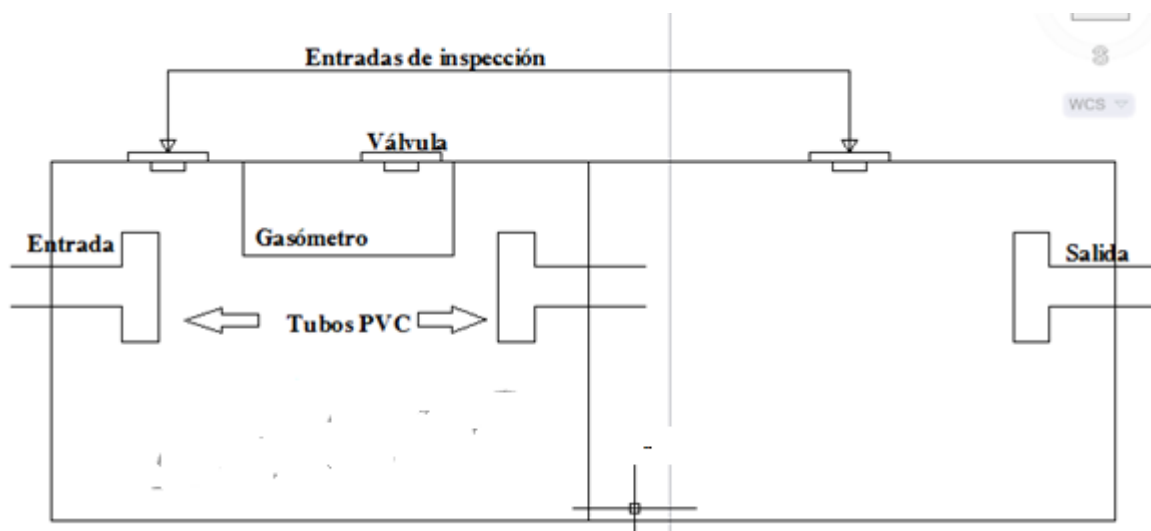


Figura 6.1 Esquema Biodigestor **Realizado por:** Gabriela García

Finalmente el biodigestor se le puede agregar un filtro anaerobio que filtra el agua residual, son comunes en biodigestores continuos con fines de saneamiento y ocupan el 10% del volumen de la cámara de fermentación (CEDECAP, 2007).

Se coloca grava o piedra, una grava con un diámetro promedio de 20 cm para que el agua tamizada y decantada pase a través de este medio y se retengan los nutrientes orgánicos. Compuesto por una malla metálica cubierta con tela galvanizada que se coloca en una cesta armada con cabillas de ½" (Guevara, 1996).

Una vez construido el biodigestor su función será remover los sólidos sedimentarios y flotantes del agua residual, la materia que es no biodegradable la almacena. En este tipo de biodigestores grandes la velocidad del fluido disminuye permitiendo que los sólidos más pesados se hundan en el fondo del tanque formándose lodos, estos lodos deben ser vaciados con una bomba a través de la tapa de succión de lodos a esto se le conoce como bio fertilizantes por tener grandes concentraciones de nutrientes, estos lodos se vierten en el cultivo y la tierra absorbe todo el abono líquido.

6.1 Densidad Poblacional

Luego de identificar el material y el tiempo de vida útil es importante describir el área de diseño, para este caso se ha considerado cuatro zonas importantes de la zona de estudio, es decir se ha dividido el área original con el fin de distribuir los caudales de manera equivalente, además en el plano obtenido en el IGM de la parroquia de Tumbaco se encuentran puntos que representan viviendas, hemos considerado que en cada vivienda habitan un promedio de seis a ocho personas, entonces se cuenta el número de puntos en la zona de estudio que representan las viviendas y se multiplica por 8 que son el número de individuos por vivienda y con este dato se calcula la población futura, con los datos del INEC el incremento poblacional de Tumbaco en el periodo 2001-2010 es de 2.89%, a continuación se obtiene la población futura para cada zona:

$$P_{FUTURA} = P_{actual} + \Delta_{POBLACION(10 \text{ AÑOS})}$$

Dónde:

P_{actual} = La población actual de la zona

$\Delta_{POBLACION(10 \text{ AÑOS})}$ = El incremento poblacional de la población actual en 20 años

El incremento poblacional es para 10 años como el diseño del proyecto es 20 años se debe multiplicar por 2 de la siguiente manera:

Zona 1

El número de viviendas de la zona I es 594, por ende el número de habitantes será de $594 * 8 = 4752$. La población futura en esta zona es:

$$P_{FUTURA} = 4752 + (2.89\% \text{ de } 4752 * 2)$$

$$P_{FUTURA} = 4752 + (137 * 2) = 5026.67 \text{ habitantes}$$

	#VIVIENDAS	#HABITANTES	Δ POBLACION	*2	P FUTURA
ZONA I	594	4752	137.33	274.67	5026.67
ZONA II	355	2840	82.08	164.15	3004.15
ZONA III	480	3840	110.98	221.95	4061.95
ZONA IV	370	2960	85.54	171.09	3131.09
				TOTAL	15224

Tabla 6.1 Población Futura **Elaborado por:** Gabriela García

6.2 Dotación

Se refiere a la cantidad de agua por habitante por día que se debe abastecer para cubrir las necesidades básicas de consumo doméstico, industrial, comercial y de servicio público. Existen cifras de dotación media futura calculada en función de la población según el número de habitantes.

Población (Habitantes)	Clima	Dotación Media Futura(i/hab/día)
Hasta 5000	frío	120-150
	templado	130-160
	Cálido	170-200
5000 a 50000	frío	180-200
	templado	190-220
	Cálido	200-230
más de 50000	frío	>200
	templado	>220
	Cálido	>230

Tabla 6.2 Dotación según habitantes

En este proyecto el número de habitantes es de 15224 y un clima templado se va a utilizar una dotación de 160 litros/habitante/día.

6.3 Caudales de Diseño

El caudal de las aguas servidas se obtiene con el caudal medio inicial que se usa para verificar la capacidad de auto limpieza de las tuberías, y se obtiene de la siguiente ecuación:

$$Q_{mi} = \frac{\text{Población Inicial} * \text{Dotación}}{86400 \frac{s}{día}} x \text{Factor A}$$

En este proyecto la dotación será de 160l/hab/día, el Factor A incluye la cantidad de agua potable que se usa en domicilios pero no ingresa a la red de alcantarillado, sus valores están entre 0.7 y 0.8 entonces para este cálculo se utiliza 0.8.

A continuación se describen los caudales de diseño para las cuatro zonas de estudio:

Zona 1

En la zona 1 se obtuvo una densidad poblacional de 5026 habitantes, el caudal para esta zona es:

$$Q_{mi} = \frac{5026 \text{hab} * 160 \frac{l}{\text{hab} * \text{día}}}{86400 \frac{s}{día}} x 0.8$$

$$Q_{mi} = 7.45 \frac{l}{seg}$$

	POBLACION	DOTACIÓN	FACTOR A	CAUDAL l/s
ZONA 1	5026.67	160	0.8	7.45
ZONA 2	3004.15	160	0.8	4.45
ZONA 3	4061.95	160	0.8	6.02
ZONA4	3131.09	160	0.8	4.64

Tabla 6.3 Caudal de Diseño en las Cuatro Zonas de Estudio

El caudal medio final se obtiene con la población final como esto se proyecta para 20 años se estima que la población se mantiene sin cambios y por ende el caudal medio final e inicial son

iguales. El caudal medio final permite el dimensionamiento de estaciones de bombeo, plantas de tratamiento y proyectos similares.

6.4 Dimensiones del Biodigestor

Una vez obtenido el caudal de diseño se obtiene las dimensiones del biodigestor en cada zona. El tiempo de retención usado para este diseño es de seis horas para que el efluente se convierta en una solución buffer no contaminante, esto es el tiempo que transcurre entre la carga y descarga del sistema. En caudales de hasta 5 l/s este tiempo permite una remoción de sedimentos hasta un 50% de sólidos, los caudales de estudio varían en ese rango. Para las dimensiones se utilizara una relación largo ancho de 1:3 y una profundidad mínima de 1.80 metros.

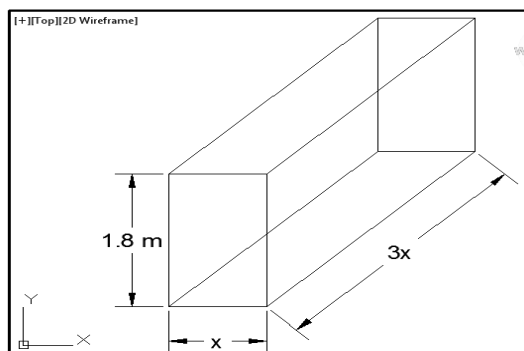


Figura 6.2 Dimensionamiento de un biodigestor **Elaborado por:** Gabriela García

Biodigestor Zona 1

Una vez obtenido el tiempo de retención y el caudal se utiliza la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$t_{RETENCION} = 6 \text{ horas} = 21600 \text{ segundos}$$

Por medio de esta se obtiene el volumen:

$$V = Q * t$$

$$V_1 = 7.45 \frac{l}{s} * 21600s$$

$$V_1 = 160920 \text{ litros}$$

$$V_1 = 160.92m^3$$

Se sabe que el volumen de una figura geométrica rectangular es igual a la multiplicación de sus lados, entonces se encuentra el lado x de la siguiente forma:

$$V = 3x * x * 1.8$$

$$x = \frac{\sqrt{V}}{5.4}$$

$$x = \frac{\sqrt{160.92}}{5.4} = 5.46 \text{ m}$$

$$3x = 16.37 \text{ m}$$

Dimensiones Biodigestor	Volumen m3	x (base)	3x(ancho)	alto
ZONA 1	160.85	5.46	16.37	1.8
ZONA 2	96.13	4.22	12.66	1.8
ZONQ 3	129.98	4.91	14.72	1.8
ZONA 4	100.19	4.31	12.92	1.8

Tabla 6.4 Dimensiones de los biodigestores **Elaborado por:** Gabriela García

Se rediseñan las dimensiones para que estén en múltiplos de cinco para que sea más fácil la colocación en el campo.

Dimensiones Biodigestor	x (base)	3x(ancho)	alto
ZONA 1	5.40	16.40	1.8
ZONA 2	4.25	12.70	1.8
ZONQ 3	4.90	14.70	1.8
ZONA 4	4.50	12.90	1.8

Tabla 6.5 Dimensiones de un Biodigestor en múltiplos de cinco

Es importante destacar que las dimensiones del biodigestor de la zona 2 y 4 son semejantes es por esto que se diseñara el que tienen las dimensiones más grandes, es decir en la zona 2 y 4 los dos biodigestores tendrán las mismas dimensiones de 4.50x12.90x1.80.

6.5 Producción de Biogás

La materia prima para la generación de biogás es cualquier estiércol o residuo orgánico no esterilizado. El estiércol que produce mayor cantidad de este gas, es el del chanco y las fecas humanas, a continuación en la **tabla 6.6** se indica la producción de estiércol por cada 100 kg de peso animal (Martí J. , 2008).

Ganado	Kg de estiércol fresco producido por cada 100 kg de peso del animal.
Cerdo	4
Bovino	8
Caprino	4
Conejos	3
Equino	7
Humano Adulto	0,4 kg por adulto
Humano niño	0,2 kg por niño

Tabla 6.6 Producción de estiércol diario **Fuente:** (Martí J. , 2008).

$$\text{Kg diarios de estiércol} = \frac{\text{Población Actual} * \text{Peso promedio Adulto} * \text{kgde estiercol fresco}}{100 \text{ kg}}$$

$$\text{Kg diarios de estiércol} = \frac{4752 * 61.54 * 0,4}{100} = 1169.8$$

Según un estudio de pesos ideales realizado por la Lic. Licata nutricionista, establece que El peso ideal en kg de un adulto esta en función de la estatura. La estatura promedio de una mujer mediana en Tumbaco es de 1.62m, le corresponde un peso mínimo de 53.80kg y un peso máximo de 59.05kg. La estatura promedio de un hombre mediano en Tumbaco es la mínima: 62.14 y máxima: 71.15. Sacando un peso promedio de un adulto es: 61.54kg.

En este caso en nuestra zona 1 consideramos una población actual de : 4752 habitantes y un peso promedio 61.54kg se tendrá una producción de 1169.8kg diarios de estiércol para alimentar al biodigestor, considerando que la población abarca niños, jóvenes, adultos, ancianos se debe tomar en cuenta solo el 25% de estiércol producido, entonces se tiene 292kg de estiércol por día.

Producción de Biogas	Población Actual Estimada	Kg diarios de estiércol	25% de estiércol producido
ZONA 1	4752	1169.8	292
ZONA 2	2840	699.1	175
ZONQ 3	3840	945.3	236
ZONA 4	2960	728.6	182

Tabla 6.7 Producción de Biogás **Elaborado por:** Gabriela García

Una vez instalado el biodigestor la alimentación es diaria y al tratarse de aguas residuales, la relación de materia orgánica y agua es 1:1 para asegurar un flujo continuo. A continuación porciones de agua recomendadas.

Tipo de Estiércol	Relacion Estiércol/Agua
Bovino fresco	1:1
Bovino Seco	1:2
Porcino	1:2
Aves	1:1
Desechos Humanos	1:1
Desechos Vegetales	1:2

Tabla 6.8 Relación Estiércol/Agua

Para la producción de biogás a partir de un kg de estiércol humano se debe considerar lo siguiente:

- **Sólidos Totales ST:** El estiércol fresco contiene alrededor del 17% de solidos totales. El ST representa la carga real de materia sólida que ingresa al biodigestor.

- **Sólidos Volátiles SV:** El valor aproximado corresponde al 77% de los sólidos totales, estos están propensos a pasar a la fase gaseosa.
- **Factor de producción:** La cantidad de producción depende de los sólidos volátiles que hay en el estiércol, mientras más conservador es este factor, menor será el riesgo de déficit en la producción de biogás.

Ganado	Factor de Producción m ³ biogas/kgxdía
Bovino	0.25-0.3
Desechos humanos	0.25-0.5

Tabla 6.9 Factor de Producción

En la zona 1 se calculó una cantidad de estiércol de 2851 kg, entonces los sólidos totales son:

$$ST = 1169.8kg \times 0.17 ; ST = 198.87kg$$

$$SV = 198.87kg \times 0.77 ; SV = 153.13kg$$

La producción de biogás diaria será de:

$$PB = 153kg \times 0.25 \frac{m^3_{biogas}}{kg \times día} = 38.25m^3_{biogas}/día$$

BIODIGESTOR	Kg diarios de estiércol	ST 17%	SV 77%	Producción de Biogas diaria
ZONA 1	1169.8	198.86	153.12	38.3
ZONA 2	699.1	118.85	91.51	22.9
ZONQ 3	945.3	160.69	123.73	30.9
ZONA 4	728.6	123.87	95.38	23.8

Tabla 6.10 Producción de Biogás Diaria **Elaborado por:** Gabriela García

1 m³ de biogás equivale a:	
Madera	1.3kg
Alcohol	1.1 litros
Gasolina	0.75 litros
Gas-oil	0.65 litros
Gas natural	0.6 m ³
Carbón	0.3kg
Electricidad	2.2 kW-h

Tabla 6.11 Equivalencia de 1m³ de biogás

Equipos	Características	Consumo (m³/día)
Lampara	100W	0.09
Cocina	Por hornilla estandar	0.4
Horno		0.44
Nevera	1 quemador	0.15
Motor		0.45/HP
Electricidad		0.62 KW

Tabla 6.12 Demanda de Biogás

En un hogar de 6 a 8 personas en los barrios de Tumbaco se puede generar el siguiente consumo energético:

APARATO	WATTS/HORA	HORAS/DIA	CANTIDAD	TOTAL KW/DIA
Batidora Manual	200	0.2	1	0.04
Licuadaora	450	0.2	1	0.09
Congelador	250	24	1	6
Afeitadora	0.7	0.12	1	0.000084
Alisador	45	0.12	1	0.0054
Foco	60	4	3	0.72
Foco	100	1	4	0.4
Plancha	1000	1	1	1
Timbre	10	0.1	1	0.001
Cargador Teléfono	4.8	1	2	0.0096
Equipo de sonido	120	2	1	0.24
Impresora	10	0.6	1	0.006
Computador	70	4	1	0.28
TV 23"	43	3	1	0.129
TV21"	115	2	1	0.23
			Total energía	9.151084
			KWh MES	274.53252
			VALOR	24.7079268

Tabla 6.13 Consumo de Energía hipotético en un hogar

El consumo de electricidad en una casa sencilla es de 9.15 kilovatios por día, esto varía según la cantidad de aparatos eléctricos y el tiempo de consumo. Considerando que la tarifa promedio de venta de energía para clientes residenciales es de 0.09 centavos, si se obtuvo 274.53KW/h al mes el valor a pagar será de: \$24.71.

De acuerdo a la **Tabla 6.12** 1m^3 de biogás produce 0.62KW/día, en la zona 1 se tiene 38.3 m^3 biogás/día, esto producirá 23.75 KW/día, al mes se tiene 712.5 KW/h con esta cantidad se puede cubrir el consumo energético de tres familias, pues $713/3=238$ KW/h que es lo que consume una familia. Si restamos $274.53\text{KW/h} - 238\text{ KW/h}=36\text{ KW/h}$ al mes de energía eléctrica que se utilizaría y el resto es energía limpia generada por el biodigestor.

Según el periódico 'El Universo' especialistas consultados estiman que una cocina de inducción requiere entre 1 y 1,5 KW/día, esto quiere decir que con 23.75 KW/día de energía limpia que genera el biodigestor 16 familias (6-8 miembros) pueden utilizar esta energía y disminuir el pago de luz ya que el gobierno va a subsidiar 100KW/h y por esto se pagara \$4, pero se estima que a partir del 2018 el subsidio se suspenderá y se empezará a cobrar la tarifa normal. El inconveniente del diseño de este biodigestor es que almacena una cantidad de biogás muy pequeña y las 600 viviendas que están en la zona de estudio no podrán aprovechar de este beneficio sino solo unas pocas familias, sin embargo se podría almacenar el biogás hasta tener una cantidad suficiente y así poder repartir a los moradores de la zona, otra alternativa es vender el biogás que produce y todos los ingresos se utilice en beneficio de la comunidad.

El biogás producido por el biodigestor se lo puede utilizar de forma sencilla por medio de una tubería que conecte el biogás con una cocina normal para encender las hornillas, si se desea producir energía limpia se debe tener en cuenta que el biogás tiene energía química, entonces se

debe transformar a energía mecánica por medio de generadores o turbinas, la turbina produce la combustión del biogás y lo convierte en energía eléctrica.

- **Estimación de la mezcla diaria para producir 1m³/día de biogás**

Producción de biogás: PB= 1m³

Cd= Carga diaria de estiércol

Factor de Producción desechos humanos 0.25 m³de biogás / kg de estiércol.

$$1m^3 = 0.25 \frac{m^3}{kg} \times 0.77 \times 0.17 \times Cd$$

$$Cd = 30.56kg$$

- **Estimación de la mezcla con una parte de estiércol y una parte de agua 1:1**

Densidad de las aguas residuales: $1030 \frac{kg}{m^3} = 1.03 \frac{kg}{l}$

Volumen de carga del estiércol diario: $\frac{30.56kg}{1.03 \frac{kg}{l}} = 29.67litros$

Volumen de agua diario: $29.67 \times 1 = 29.67 (l)$

Mezcla total = $29.6 + 29.6 = 59.34$ litros (agua+ estiércol)

6.6 Estimación del Biol o Bio Fertilizante

A continuación se conocerá el biol que se puede utilizar como abono orgánico, tomando en cuenta que en el proceso de fermentación se pierde una parte de solidos totales que van del 5-30%, dependiendo del tipo de estiércol, en este caso hemos considerado un 17%.

“Dentro del biodigestor no existen pérdidas para el fosforo, potasio y calcio que se encuentra en los residuos” (Preston T. , 2005).

Valores de Estiércol biodigerido		
Elemento	Unidades	Estiercol Biodigerido
Nitrógeno (N)	%	0.8
Fósforo (P)	%	0.04
Potasio (K)	%	0.26

Tabla 6.14 Valores de Estiércol Biodigerido

En la **Tabla 6.14** están los nutrientes más importantes que componen el estiércol.

A continuación se indica la producción de bio abono por día. Según varias investigaciones realizadas por Raúl Botero, consultor internacional para la tecnología de los biodigestores considera que después de la operación de filtrado queda un 15% de estiércol para generar bio abono, entonces la cantidad de bio abono diario es:

$$\text{Cant. Bioabono} = \text{Cant. de estiércol diario} \times 15\% \text{ de filtrado}$$

$$\text{Cant. Bioabono} = 1169.8 \frac{\text{kg}}{\text{día}} * 0.15 = 175.5 \text{ kg/día}$$

BIODIGESTOR	Kg diarios de estiércol	15% de filtrado
ZONA 1	1169.8	175.5
ZONA 2	699.1	104.9
ZONQ 3	945.3	141.8
ZONA 4	728.6	109.3

Tabla 6.15 Kg diarios de Estiércol **Elaborado por:** Gabriela García

- **Cantidad de Nutrientes en el bio-abono**

$$\text{Cant. de Nutrientes} = \text{Valores de estiercol biodigerido} * \text{Cant. bioabono diario}$$

A continuación los nutrientes para los biodigestores:

$$\text{Nitrógeno} = 0.008 * 175.5 \frac{\text{kg}}{\text{día}} = 1.404 \text{ kg/día}$$

BIODIGESTOR	Cant. Bioabono diario	Estiércol biodigerido		
		Nitrógeno 0.8%	Fósforo 0.04%	Potasio 0.26%
ZONA 1	175.5	1.404	0.070	0.456
ZONA 2	104.9	0.839	0.042	0.273
ZONA 3	141.8	1.134	0.057	0.369
ZONA 4	109.3	0.874	0.044	0.284

Tabla 6.16 Cantidad de Bioabono diario **Elaborado por:** Gabriela García

El biodigestor va a estar en un terreno baldío, cercado por arboles este terreno se lo puede aprovechar para la siembra, siempre y cuando no sean arboles de raíces muy fuertes ya que puede dañar la estructura del biodigestor, estos cultivos alrededor del reactor se los puede alimentar con el bio fertilizante que este produce.

7. PRESUPUESTO REFERENCIAL

La instalación de un biodigestor para el tratamiento de aguas residuales es una alternativa viable y sostenible a futuro pues reduce la contaminación atmosférica aprovechando el gas metano para la generación de biogás. Adicionalmente realiza un tratamiento adecuado de las aguas residuales. En este presupuesto se debe considerar que los terrenos en estos barrios de Tumbaco tienen plusvalía por la ubicación cerca al aeropuerto, el clima, la actividad agrícola y ganadera. Una estimación del metro de terreno en este lugar es de \$ 350. Para la implementación del biodigestor en un terreno en la zona de estudio se debe comprar o el municipio debería invertir en estas nuevas alternativas ambientales.

Una vez conseguido los terrenos en las zonas de interés se debe tomar en cuenta la mano de obra que se necesitara. Para un biodigestor se necesita un maestro mayor y cuatro peones. A continuación se indica una tabla del Reajuste de Precios y Salarios Mínimos por Ley vigente desde enero 2016, realizado por la Contraloría General del Estado, Dirección de Auditoría de Proyectos y Ambiental.

CONSTRUCCIÓN Y SERVICIOS TÉCNICOS Y ARQUITECTÓNICOS	SUELDO UNIFICADO	DECIMO TERCER	DECIMO CUARTO	APORTE PATRONAL	FONDO RESERVA	TOTAL ANUAL	JORNAL REAL	COSTO HORARIO
PEON	376.07	376.07	366	548.31	376.04	6179.29	26.07	3.26
ALBAÑIL	380.97	380.97	366	555.45	380.97	6255.03	26.39	3.3
OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	380.97	380.97	366	555.45	380.97	6255.03	26.39	3.3
FIERRERO	380.97	380.97	366	555.45	380.97	6255.03	26.39	3.3
PLOMERO	380.97	380.97	366	555.45	380.97	6255.03	26.39	3.3
INSPECTOR DE OBRA	425.48	425.48	366	620.35	425.48	6943.07	29.3	3.66
OPERADORES Y MECANICOS DE EQUIPO PESADO								
MOTONIVELADORA	424.75	424.75	366	619.29	424.75	6931.79	29.25	3.66
EXCAVADORA	424.75	424.75	366	619.29	424.75	6931.79	29.25	3.66
RETROEXCAVADORA	424.75	424.75	366	619.29	424.75	6931.79	29.25	3.66
TRACTOR TIENDE TUBOS	424.75	424.75	366	619.29	424.75	6931.79	29.25	3.66
TRACTOR CARRILES	424.75	424.75	366	619.29	424.75	6931.79	29.25	3.66

Tabla 7.1 Sueldo Unificado de la mano de obra que se va a utilizar en el proyecto

Se estima que la construcción de los cuatro biodigestores se concluirá en un tiempo máximo de 1 mes, entonces el costo de mano de obra por día es el siguiente:

CONSTRUCCIÓN Y SERVICIOS TÉCNICOS Y ARQUITECTÓNICOS	SUELDO POR DIA
PEON	20
ALBAÑIL	20
OPERADOR DE EQUIPO LIVIANO	20
FIERRERO	20
PLOMERO	20
INSPECTOR DE OBRA	40
MOTONIVELADORA	40
EXCAVADORA	30
RETROEXCAVADORA	30
TRACTOR TIENDE TUBOS	30
TRACTOR CARRILES	30

Tabla 7.2 Salario de Mano de Obra por día.

La mano de obra se clasifica según la categoría:

- ✚ Categoría I: Peón
- ✚ Categoría II: Ayudante
Machetero
- ✚ Categoría III: Albañil,
Pintor,
Carpintero,
Fierrero
- ✚ Categoría IV: Maestro Soldador
Maestro Electricista
Maestro de Obra
Maestro Plomero

- **Costo de Operación**

Requiere un peón que se encargue de colocar la cantidad de agua necesaria que se va a mezclar con las tuberías que llevan el estiércol, en este caso las aguas residuales. El

trabajador realizara como máximo una hora y media por día. Para esto se le pagara \$10 el día durante los siete días de la semana. Al año se tendrá un costo de 3600\$/año.

- **Costo por Mantenimiento**

El mantenimiento se realizara cada 2 años, se coloca una estaca, la parte inferior dentro del biodigestor y la parte superior fuera, a la intemperie de manera que cuando la estaca se ponga roja indica que necesita la evacuación de los lodos que se forman en la parte inferior del reactor.

El mantenimiento también se refiere cuando existe algún daño en las tuberías, la válvula que permite sacar el biogás, conexiones, etc.

Este trabajo requiere de un plomero que pueda corregir cualquier daño en las tuberías, por día se le puede pagar \$10 teniendo en cuenta que esto es esporádico.

- **Presupuesto**

El presupuesto que abarca la fase de construcción se describe a continuación. Los precios se obtuvieron de una lista de precios de PLASTIGAMA y ROTOPLAS.

Son cuatro biodigestores pero el biodigestor 2 se duplica el precio ya que tienen las mismas dimensiones.

Nº	PRELIMINARES	Unidad	BIODIGESTOR 1	BIODIGESTOR 2	BIODIGESTOR 3	P.U.	PRECIO 1	PRECIO 2	PRECIO 3
1	REPLANTEO Y NIVELACION	M2	2631.09	2631.09	2631.09	1.5	3946.635	3946.635	3946.635
2	EXCAVACION ESTRUCTURA	M3	159.408	129.654	104.49	72	11477.376	9335.088	7523.28
3	DESALOJO DE TIERRA	M3	247.968	201.684	162.54	54	13390.272	10890.936	8777.16
6	CEMENTO ROCAFUERTE SACO 50KG	Sacos	8	8	8	7.9	63.2	63.2	63.2
7	ARENA	Volqueta	1	1	0.5	180	180	180	90
8	HORMIGON SIMPLE f _{ic} = 210 KG/CM2	M3	58.54	26.84	47.41	98.43	5762.0922	2641.8612	4666.5663
10	Acero f _c 4200 N° 12	Quintal	3	3	3	73	219	219	219
11	Acero varilla N° 8	Quintal	3	3	3	68	204	204	204
12	EXCAVACION CAMPO INFILTRACION	M3	538.875	538.875	538.875	2	1077.75	1077.75	1077.75
	OTROS						0	0	0
13	MAMPOSTERIA DE BLOQUE E= 15 CM	U	700	700	700	0.4	280	280	280
14	MALLA PERIMETRADA	M	54.00	49.60	45.20	100	5400	4960	4520
15	FILTRO PLASTICO DE MALLA METALICA	U	1	1	1	6.5	6.5	6.5	6.5
16	CODO SANTITARIO 45° 110 mm	U	4	4	10	0.6	2.4	2.4	6
17	TEE PVC 25mm	U	4	4	10	1.3	5.2	5.2	13
18	CODO PVC RIVAL 6X90	U	4	4	10	0.55	2.2	2.2	5.5
19	ADAPTADOR PEGABLE ROSCABLE 2"	U	5	5	8	1.6	8	8	12.8
20	VÁLVULA HIDRAULICA DE PVC 2"	U	1	1	1	75.35	75.35	75.35	75.35
21	ADAPTADOR MACHO ROSCADO PVC 1 PULGADA	U	3	3	3	0.85	2.55	2.55	2.55
22	ADAPTADOR HEMBRA ROSCADO PVC 1 PULGADA	U	3	3	3	0.85	2.55	2.55	2.55
23	MANGUERA FLEXIBLE 1 PULGADA	U	1	1	1	15.87	15.87	15.87	15.87
24	LLAVE DE PASO DE BALIN	U	1	1	1	25.6	25.6	25.6	25.6
	TUBERIAS	U	1	1	1	15	15	15	15
25	TUBERIA NOVALOC ENTRADA Y SALIDA 200 MM	U	2	2	2	658	1316	1316	1316
26	TUBO PVC 110 mm	U	7	7	7	13.35	93.45	93.45	93.45
						SUBTOTAL	43571.0	35369.1	32957.8
						14%	6099.9	4951.7	4614.1
						TOTAL	49670.9	40320.8	37571.8
						Inversion Total	165135.5		

Tabla 7.3 Presupuesto Referencial Elaborado por: Gabriela García

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Dentro del diseño del biodigestor fue de gran importancia tener un conocimiento general de la zona de estudio, pues la temperatura del reactor depende de la temperatura ambiente que prevalece en este lugar, el tiempo de vida útil está muy influenciado por el crecimiento poblacional de la zona, ya que se diseñó para que el digestor almacene las aguas residuales de la población actual y de la población que se estimó que será en 20 años, considerando un crecimiento poblacional del 2.89%. Es importante estar consiente que esta zona es susceptible a un aumento de migración ya que de todas la ciudades llegan a este sector privilegiado por su clima, flora, y fauna, además la incidencia de personas puede aumentar por los sismos que se está sufriendo en la costa del país.

Lamentablemente la cantidad en m^3 / día que producen los biodigestores en la zona de estudio es relativamente pequeño para abastecer a todas las viviendas de la zona, sin embargo que tres familias o 20 familias tengan el beneficio de utilizar biogás es un gran paso para fomentar esta idea y que el gobierno implemente biodigestores que capten grandes cantidades de materia orgánica o aguas residuales para un control más eficiente de los desechos humanos y mediante ello nazca alguna posibilidad de vender energía limpia aparte de las hidroeléctricas que se están construyendo en Ecuador. Además al producir una cantidad considerable de biogás reduce la formación de Gases de Efecto Invernadero que se produce por las concentraciones de metano, este gas genera 21 veces más contaminación que el dióxido de carbono y al utilizar energía limpia disminuye la contaminación que produce el CO_2 . El tamaño del biodigestor que se diseñó es adecuado para almacenar el biogás y la ventaja es que no necesita la implementación de un gasómetro, basta con conectar una tubería para aprovechar el biogás, en vez del gas común que se compra. Realizar la combustión del biogás para transformarlo a kilovatios puede incurrir en más

costos pero es una inversión que vale la pena, pues el hecho que exista este tipo de tecnología en el sector aumentara la plusvalía de los terrenos. Utilizar la materia orgánica del estiércol, de la biomasa mediante un biodigestor o un relleno sanitario es permitir que nuestras generaciones futuras tengan una mejor calidad de vida con un ambiente menos contaminado. El biodigestor se diseñó para que se construya en un terreno grande, este debe estar cercado para que las personas o animales no entren a maltratar al biodigestor, también para evitar que se roben o lo destruyan, el terreno a más de estar cercado se le puede sembrar alrededor árboles para preservar un ambiente ecológico agradable a la vista.

El bio fertilizante que se obtiene con concentraciones de nitrógeno, fosforo y potasio, al formarse bajo condiciones anaerobias no posee ningún mal olor, a pesar que se obtuvo una pequeña cantidad de fertilizante en cada biodigestor, esto se lo puede vender para aplicarlo en parcelas pequeñas de sembríos o en los jardines pequeños de las casas de Tumbaco y así se va mejorando la calidad de los cultivos y evitan la contaminación del suelo, agua de riego que producen los fertilizantes de uso común. Además alrededor de los biodigestores hay un terreno grande que se lo puede utilizar para el cultivo de plantas y se puede utilizar los lodos que se sacan del biodigestor, y estos a su vez contiene el bio fertilizante que permite que las plantas se desarrollen bien reduciendo la contaminación del suelo y agua que son los más afectados en el momento que las personas aplican cualquier fertilizante.

La matriz de importancia fue de gran utilidad, puesto que toda construcción causa un impacto ambiental en el lugar que se desempeña la obra, por esto fue importante visualizar las posibles afectaciones que se puede dar, entre estas se encontraron una molestia por ruidos moderada, que se da por el ingreso de materiales, tractores, etc. Otra posible molestia es la acumulación de polvos, esto se puede controlar votando agua en la tierra para que no se levante el polvo, sin

embargo la magnitud de esta obra ocasionará un impacto por polvos casi nula o moderada. Algo muy importante que hay que tomar en cuenta es que después de la etapa de construcción probablemente quedara una acumulación de escombros y basura, por esto se debe tener un lugar adecuado que receptara todo lo que quede después de la construcción. Además la identificación de los posibles impactos que se obtuvo de la matriz de importancia fue de gran utilidad para empezar a buscar soluciones que permitan reducir al máximo cualquier impacto negativo, considerando que esta es una obra pequeña y los impactos son moderados. La matriz de Leopold fue de gran ayuda para visualizar los impactos culturales, sociales pues esta reflejo que durante la etapa de construcción se dará empleo a los orfebres que vivan por el sector, además esta tecnología influenciara de alguna manera en la plusvalía de los terrenos alrededor del biodigestor, es decir los terrenos tendrán más valor. El tamaño de la obra no genero impactos importantes ni durante la construcción ni después ya que el mantenimiento del biodigestor es muy sencillo y manual. En el mantenimiento se debe estar muy pendiente que no exista una sobrecarga porque esto puede alterar el funcionamiento del reactor, se debe estar atento del color de la estaca para empezar la succión de lodos hacia afuera para que no se acumulen.

El presupuesto que se obtuvo es viable a nivel de gobierno, es decir si el estado realizara este tipo de obra sería de gran beneficio para la comunidad, ya que por un lado hace un tratamiento eficiente de las aguas residuales, y de paso genera pequeñas cantidades de biogás, que es un paso hacia adelante para la implementación de nuevas tecnologías ambientales en el Ecuador. El presupuesto de los cuatro biodigestores fue de \$165135.5, considerando que el valor del tercer biodigestor se le duplica porque dos biodigestores tienen las mismas dimensiones. Sí la zona de estudio consta aproximadamente de 15000 habitantes entonces cada persona debe pagar un valor de \$11 lo cual es un precio módico para este tipo de tecnología.

Lo importante de este diseño fue reducir los parámetros físico-químicos y biológicos de las aguas servidas, y esto se dio ya que el DQO se transforma en biogás, entonces los valores de DQO y DBO son mínimos y el agua tratada se infiltra en el terreno sin causar ningún impacto ambiental. Las características y calidad del efluente tratado lograron una baja contaminación y gracias a las condiciones anaerobias no producen mal olor, además gran cantidad de los parásitos que existen en las aguas mueren y así se disminuye la propagación de enfermedades infecciosas. El tratamiento que proporciona el biodigestor es muy sencillo pues pasado las seis horas la materia orgánica baja y el agua queda limpia, si se desea mejorar este proceso de tratamiento se puede colocar afuera del digestor un filtro anaerobio que tiene grava de 20 cm de diámetro y esto se encarga de retener cualquier solido pequeño que no se fue al fondo del reactor.

Se espera que el biodigestor realice un tratamiento primario y a la vez anaerobio, un tratamiento anaerobio es recomendable pues es más económico ya que no necesita suministrar grandes cantidades de energía para introducir oxígeno en lagunas aireadas, además no requiere de mayores espacios.

9 BIBLIOGRAFIA

- Adriana Pascual, M. B. (2010). *Desarrollo, Salud Humana y Amenazas Ambientales*. La Plata: EDUP.
- Aguirre, M. (2013). *Agua y Depuración: Diferenci entre DBO y DQO*.
- Alvarez, M. (2008). *Inspiración por un Mundo Libre de Pobreza*. Obtenido de Contaminación del Agua: <https://www.inspiration.org/cambio-climatico/contaminacion/contaminacion-del-agua>
- Alvarez, M. (2011). *Nueva Tribuna*. Obtenido de Crisis del Agua en el Mundo: <http://www.nuevatribuna.es/articulo/medio-ambiente/la-crisis-del-agua-en-la-india/20110107141748040047.html>
- Avedaño, D. (2010). *Diseño y Construcción de un Digestor Anaerobio de Flujo de Pistón*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.
- Baird, C. (2001). *Química Ambiental*. España: Reverté.
- Barnes, H. C. (2000). Biología. En H. C. Barnes, *El Flujo de Energía* (págs. 183-210). Madrid.
- Barragán, H. (2010). Desarrollo, Salud Humana y Amenazas Ambientales: La Crisis de la Sustentabilidad. En A. P. Horacio Barragán, *Provisión del Agua* (pág. 157/524). La Plata: EDULP.
- Bermudez, A. (2002). *Los Fertilizantes y su Uso*. Roma: Asociacion Internacional de la Industria de los Fertilizantes IFA. Cuarta Edición.
- Botero, R. (1987). *Biodigestor de bajo costo para la produccion de combustible y fertilizante a partir de excretas*.
- CEDECAP. (2007). *Diseño de Biodigestores en Hormigón*. Bolivia.
- Conesa, V. (2010). *Guia Metodologica Para La Evaluacion Del Impacto Ambiental*. México: Mundi Prensa.
- Diaz, A. (2008). *Tratamiento de Aguas Residuales*.
- Dominguez, J. (2001). Biodigestores como componentes de Sistemas Agropecuarios Integrados. *Sistemas integrados de Producción con no Rumiantes, Instituto de Investigaciones Porcinas*, pp 35-38.
- Droste, R. (1997). Anaerobic Water Treatment. *Theoru and Practice of Water and Wastewater Treatment*, 623-664.

- Droste, R. (1997). Anaerobic Water Treatment. En R. Drost, *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment* (págs. 623-664). California.
- Eddy, M. &. (2000). *Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización*. Madrid: Tercera Edición: Mc Graw Hill.
- Elizondo, D. (2005). *El Biodigestor*. Costa Rica: Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria.
- EMAC. (2013). *Aprovechamiento de Biogas en el Relleno Sanitario de Pichacay*. Cuenca: Empresa Municipal de Aseo Cuenca.
- EMAPS. (2014). *Empresa Metropolitana De Agua Potable Y Saneamiento*. Obtenido de Nueva Planta de Tratamiento de Agua Potable Paluguillo al Servicio de las Parroquias Nororientales: <http://www.aguaquito.gob.ec/nueva-planta-de-tratamiento-de-agua-potable-paluguillo-al-servicio-de-las-parroquias-nororientales>
- Energía, I. p. (2007). *Biomasa: Digestores Anaerobios*. Madrid: IDAE.
- Escalera, A. (2009). Material de Apoyo Didáctico de Diseño y Métodos Constructivos de Sistemas de Alcantarillado y Evacuación de Aguas Residuales. En T. Diómedes, *Digestión Anaerobia* (pág. 320). Bolivia.
- Escobar, J. (2002). *La Contaminación de los Ríos y sus Efectos en las Zonas Costeras*. CEPAL.
- Fabara, E. (2009). *Biodigestor de Polietileno: Construcción & Diseño*. Bolivia: PROAGRO.
- Fierros.F. (2011). *La Ciencia del Suelo, Historia, Concepto y Método Cap:2 Concepto sobre el Suelo*. Santiago Chile: Universidad Santiago de Compostela.
- FIRCO. (2010). *Especificaciones Técnicas para el Diseño y Construcción de Biodigestores en México*. México: SEMARNAT: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Fuentes, C. (2008). Experiencia en el Perú. *Revista de Agua y Saneamiento, PROPILAS: Lima-Peru*, 4-8.
- GAD, T. (2012). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia de Tumbaco*. Quito: Gobierno Autonomo Descentralizado Tumbaco.
- Galvez, P. (2008). *Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas*. El Salvador: Ideasmares.
- Gentile, N. (2003). *Tratado de Horticultura Escolar. Capítulo 5: Clima, Suelos, Abonos, Riesgos Protección Contra las Heladas en la Horticultura Escolar*. UNSE.

- Granja, P. (2010). *Contaminación del Suelo*. Brasil: Escuela Universitari de Ingeniería Técnica Digital.
- Guevara, A. (1996). *Fundamentos Básicos para Diseños de Biodigestores*. Lima: CEPIS.
- Guevara, A. (1996). *Fundamentos Básicos para el diseño de biodigestores Anaeróbios Rurales*. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- H Glynn, W. H. (1996). *Ingeniería Ambiental*. México: Pearson.
- Herdoiza, W. (2014). *BIOTHANE: Tratamiento Biológico anaeróbico de Aguas Residuales Industriales*. Madrid.
- Hiler, E. y. (1985). *Biomass Energy*. pp 76-112.
- INEC. (2001). *Vi Censo De Poblacion Y Vivienda*. Quito: Instituto Nacional De Estadistica Y Censos.
- Isabel García, J. R. (2006). *Guía sobre Tratamientos de Aguas Residuales Urbanas para Pequeños Núcleos de Población*. Madrid: ITC.
- Jimenez, J. (2013). *Manual para el Diseño de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario*. Veracruz México.
- Jorge Urel, I. L. (2013). *Proyecto Sobre Comercialización y Producción de Biodigestores para su Implementación en el Sector Agrícola de la Provincia del Guayas*. Guayaquil, Ecuador: Centro de Investigación Científica y Tecnológica ESPOL.
- Juan Porta, M. L. (1998). Degradación del Suelo y Calidad Ambiental. En M. L. Juan Porta, *Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente* (págs. 825-851). Tercera Edicion.
- Juan Rivero, A. P. (2012). *Biodigestores: Una Alternativa de Aprovechamiento Integral de Aguas Residuales*. Juarez: Universidad Juarez del Estado de Durango.
- Lorena Decara, G. S. (2004). *El Uso de Biodigestores en Sistemas Caprinos de la Provincia de Córdoba*. Córdoba, Argentina: Universidad Nacional del Río Cuarto, pp 4-13.
- Maldonado, M. (2 de febrer de 2016). *EcuRed*. Obtenido de EcuRed:
http://www.ecured.cu/Aguas_Residuales
- Marín, R. (2014). *Control de Calidad en las Aguas Residuales y Regeneradas*. Calidad y Medio Ambiente de Emacsa.
- Martí, J. (2008). *Biodigestores Familiares: Guia de Diseño y Manual de Instalación*. Bolivia: GTZ Energía.

- Martí, J. (2010). Biodigestores de Bajo Costo para Producir Biogas y Fertilizante Natural a partir de Residuos Orgánicos. *IDEASS Innovación para el Desarrollo y la Cooperación Sur-Sur*, 1-12.
- Martinez, M. M. (2011). *Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente RAFAs o UASB*. Centro Tecnológico Aragón, Laboratorio de Ingeniería Ambiental.
- Mendez, F. (2010). *Ingeniería de Tratamiento de Aguas Residuales, Cap 2: Demanda Bioquímica de Oxígeno*. Argentina.
- Merino, R. (2009). *Manual de Agua Potable y Saneamiento*. México: CNA.
- METCALF. (2003). Microbial Growth Kinetics. En M. & INC, *Wastewater Engineering Treatment and Reuse* (págs. 502-505). New York: METCALG & EDDY INC.
- Mihelcic, A. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Ambiental*. México: Limusa.
- Miller, T. (2002). *Ciencia Ambiental, Preservemos la Tierra*. México: Quinta Edición: Ciencias e Ingenierías.
- Moncayo, G. (2008). *Dimensionamiento, Diseño y construcción de Biodigestores y planta de biogas*. Aqualimpia Beratende Ingenieure.
- Odoum, E. (1971). *Ecología*. México: Nueva Editorial Interamericana.
- Pablo Mamani, E. C. (2007). *El Biol: Biofertilizante Casero Para La Producción Ecológica De Cultivos*. Cochabamba: Unidad De Comunicación PROINPA.
- Pacheco, P. (2014). *Desechos Industriales*. Obtenido de EcuRed: http://www.ecured.cu/Desechos_industriales
- PDOT, T. (2014). *Diagnóstico e Historia de Tumbaco*. Quito: Plan De Ordenamiento Territorial Tumbaco.
- Perez, F. (2011). *Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales*. Tuxpan Mexico.
- Perez, J. (2010). *Estudio y diseño de un biodigestor para aplicacion en pequeños ganaderos y lecheros*. Santiago de Chile: Universidad Chile Departamento de Ingeniería Mecánica.
- Preston, R. B. (1987). *Biodigestor de Bajo Costo para la Producción de Combustible y Fertilizante a Partir de Excretas*.
- Preston, T. (2005). Los Biodigestores en los Sistemam Agrícolas ecológicos. *Revista Agricultores; Volumen 21*, 5-7.
- Pulido.S, M. &. (2013). Origen y Características de las Aguas Residuales. *UNIMINUTO*.

- Quimbaya, Q. (2005). *Biodigestores una Alternativa a la Autosuficiencia Energética y Biofertilizantes*. Colombia: Fundación Habitat.
- Ramalho, R. (1996). *Tratamiento de Aguas Residuales*. España: Reverté.
- Restrepo. (2007). *Biomasa: Digestores Anaerobios*. Madrid: BESEL, Departamento de Energía.
- Rinas, F. S. (1999). *Ingeniería Ambiental, Contaminación y Tratamientos*. México: Alfaomega Marcombo.
- Rivero, J. A. P. (2010). Biodigestores: Una nueva Alternativa de Aprovechamiento Integral en las Aguas Residuales. *Chapingo MX Revistas*, 1-7.
- Robles, C. (2007). *Portal Ecuador Inmediato*. Obtenido de Se Confirma la Presencia de Arsénico en el Agua de Tumbaco: www.ecuadorinmediato.com
- Rodriguez, P. (2013). Ficha Técnica Biodigestores. *Soluciones Prácticas ITDG*, 1-4.
- Rosales, P. (2000). Países con Agua Más Contaminada. *EnForma*, 6.
- Rosenkranz, F. (2013). Reactores Anaerobios por Lotes Secuenciales ASBR. En F. Rosenkranz, *Estudio del Comportamiento de Reactores Anaerobios de Tipo ASBR frente a Compuestos de Difícil Degradación y Efectos Negativos* (pág. 12/194). Chile: Universidad de Santiago de Compostela.
- Sanchez, G. (2010). *Arsénico en Aguas y Suelos Tumbaco: Un Estudio de las Fuentes y Procedimientos Tecnológicos para mitigar su Impacto Ambiental*. Quito: Centro de Investigación de Nanociencia y Nanotecnología.
- Santiago Foster, H. G. (2006). *Gestión Sustentable del Agua Subterránea Conceptos y Herramientas: Recarga del Agua Subterránea con Aguas Residuales Urbanas*.
- Santos, F. (2009). *Historia de la Red de Alcantarillado*. Bolivia.
- Santos, F. (2009). Material de Apoyo Didáctico y Métodos Constructivos de Sistemas de Alcantarillado y Evacuación de Aguas Residuales. En F. Santos, *Laguna Anaerobia* (pág. 325). Bolivia.
- Seanez, C. (1999). *Aguas Urbanas, Tratamientos Naturales de Bajo Costo y Aprovechamiento*. España: Mundiprensa.
- Stainforth, M. M. (1978). *Compost Fertilizer and biogas production from human and farm wastws in the Peoples Republic of China*. Ottawa-Canada: IDRC.
- Taiganides, J. (1963). Anaerobic Digestion of hog wastws. *Journal of Agriculture Engineer Research*, 327-333.

- Tamayo, M. L. (2000). *Contaminación del Agua*. Buenos Aires: Nueva Visión.
- Tavizón, E. (2010). *Diseño de un Biodigestor para desechos Orgánicos de Origen Vegetal*. Juárez-México: CIMAV Centro de Investigación en Materiales Avanzados.
- Tchobanoglous, R. C. (2004). *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones*. Colombia: Mc Graw Hill.
- Urel, J. L. &. (2013). *Proyecto Sobre la Comercialización y Producción de Biodigestores para su Implementación en el Sector Agrícola de la Provincia del Guayas*. Guayaquil: ESPOL.
- Vasconez, F. (2014). *Características Químicas y Físicas de las Aguas Negras: Contaminantes Orgánicos vs Inorgánicos*.
- Velez, S. (1979). *Guía General para la Elaboración de Proyectos de Ingeniería de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado*. SAHOP.
- Villanueva, R. C. (2013). Biodigestores Tubulares y Unifamiliares. En R. C. Villanueva, *Tecnologías Transformando vidas, Tecnologías para Servicios Básicos y de Infraestructura* (págs. 33-37). Lima : Perú, Primera Edición 2013.
- Waste, A. (2010). Digestión anaerobia. *Agro waste*, 1-10.
- Weemaels, N. (2006). Ficha Técnica de las Organizaciones. Comité Pro Agua Sin Arsénico. *Estudio Sobre la Sociedad Civil del Ecuador*, (págs. 1-3). Quito, Tumbaco.
- Winkler, M. (1998). *Tratamiento Biológico de Aguas de Desecho*. México: Limusa.
- WPCF. (1979). Anaerobic Aludge Digestion. *Manual of Practice No 16. Water Pollution Control Federation*.

10ANEXO

Datos de Población en Tumbaco INEC

www.inec.gob.ec
www.ecuadorencifras.com
ECUADOR CUENTA CON EL INEC



Densidad Poblacional, según Parroquia

Código	Nombre de parroquia	Total de la población	Superficie de la parroquia (km2)	Densidad Poblacional
010150	CUENCA	331,888	PARROQUIAS	4,701.63
010151	BAÑOS	16,851	326.71	51.58
010152	CUMBE	5,546	70.84	78.29
010153	CHAUCHA	1,297	313.31	4.14
010154	CHECA (JIDCAY)	2,741	62.81	43.64
170183	TABABELA	2,823	25.33	111.45
170184	TUMBACO	49,944	65.25	765.43
170185	YARUQUI	17,854	71.95	248.14
170186	ZAMBIZA	4,017	7.41	542.11
170250	CAYAMBE	50,829	382.41	132.92
170251	ASCAZUBI	5,050	37.03	136.38
170252	CANGAHUA	16,231	332.37	48.83
170253	OLMEDO (PESILLO)	6,772	392.61	17.25

POBLACIÓN Y TASAS DE CRECIMIENTO 2010-2001-1990 POR SEXO, SEGÚN PARROQUIAS

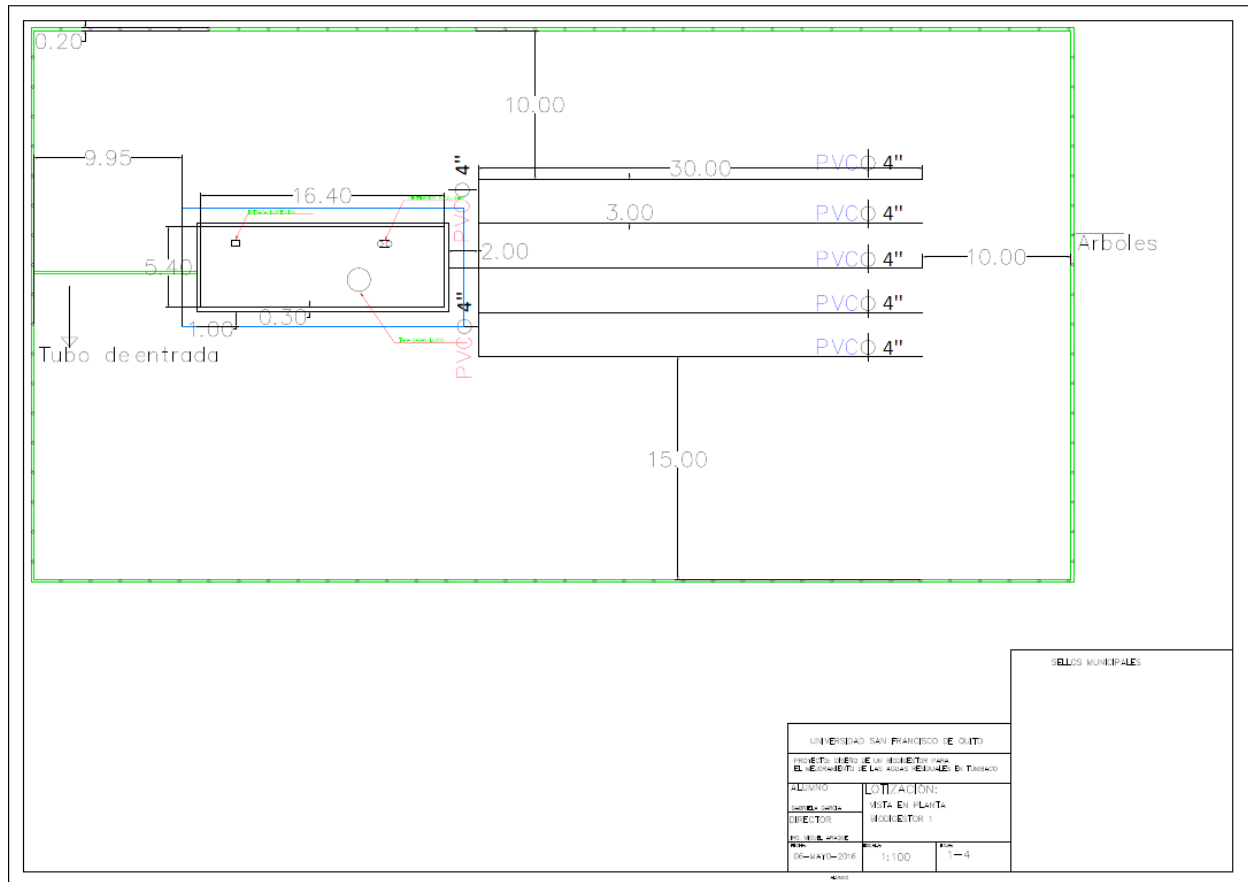
Código	Nombre de parroquia	2001			1990			Tasa de Crecimiento Anual 2001-2010			Tasa de Crecimiento Anual 1990 - 2001		
		Hombre	Mujer	Total	Hombre	Mujer	Total	Hombre	Mujer	Total	Hombre	Mujer	Total
	Nacional	6018,353	6138,255	12156,608	4796,412	4851,777	9648,189	1.96%	1.93%	1.95%	2.06%	2.14%	2.10%
170182	SAN MIGUEL DE LOS BANCOS				8,135	7,085	15,220						
170183	TABABELA	1,135	1,142	2,277	921	883	1,804	2.33%	2.44%	2.39%	1.90%	2.34%	2.12%
170184	TUMBACO	18,921	19,577	38,498	11,404	11,825	23,229	2.85%	2.94%	2.89%	4.60%	4.58%	4.59%
170185	YARUQUI	6,919	6,874	13,793	3,738	3,805	7,543	2.77%	2.97%	2.87%	5.60%	5.38%	5.49%
170186	ZAMBIZA	1,456	1,488	2,944	1,111	1,186	2,297	3.35%	3.55%	3.45%	2.46%	2.06%	2.26%
170187	PUERTO QUITO				7,398	6,377	13,775						
170250	CAYAMBE	19,945	20,540	40,485	11,713	12,370	24,083	2.51%	2.55%	2.53%	4.84%	4.61%	4.72%
170251	ASCAZUBI	1,915	1,841	3,756	1,328	1,333	2,661	2.96%	3.62%	3.29%	3.33%	2.94%	3.13%
170252	CANGAHUA	6,555	6,953	13,508	4,878	4,958	9,836	2.10%	1.98%	2.04%	2.69%	3.07%	2.88%
170253	OLMEDO (PESILLO)	3,021	3,418	6,439	2,888	3,186	6,074	0.51%	0.61%	0.56%	0.41%	0.64%	0.53%
170254	OTON	1,071	1,054	2,125	966	992	1,958	2.63%	3.23%	2.93%	0.94%	0.55%	0.74%

Listado de Centros Poblados a Nivel de Parroquia

VI CENSO DE POBLACION Y V DE VIVIENDA - 2001					
LISTADO DE CENTROS POBLADOS A NIVEL DE PARROQUIA					
PROVINCIA: 17 PICHINCHA			CANTON: 1 QUITO		
CODIGO	NOMBRE DE LA PARROQUIA	NOMBRE DE LA LOCALIDAD	TOTAL:	VIVIENDA	POBLACION
17 1 84	TUMBACO	TOLA CHICA	403		1.453
17 1 84	TUMBACO	TOLA CHICA (VILLEGA)	157		549
17 1 84	TUMBACO	TOLA GRANDE	539		2.003
17 1 84	TUMBACO	TOLA GRANDE	45		159
17 1 84	TUMBACO	TOLOGASI	50		158
17 1 84	TUMBACO	TUMBACO	35		123
17 1 84	TUMBACO	TUMBACO ALTO	70		247
17 1 84	TUMBACO	TUMBACOCHA	8		25
17 1 84	TUMBACO	URB. LOS ALGARROBOS	8		41
17 1 84	TUMBACO	URB. PARAISO	4		16
17 1 84	TUMBACO	URB. PEÑAS DE ALBAN	1		0
17 1 84	TUMBACO	URB. RUMIHUASI	36		124
17 1 84	TUMBACO	URB. SANTA ROSA	35		114
17 1 84	TUMBACO	VILLA VEGA	136		482
17 1 85	YARUQUI	ALVAREZ	39		136
17 1 85	YARUQUI	CAMPO DURO	12		50
17 1 85	YARUQUI	CHINANGACHI	154		447
17 1 85	YARUQUI	CONIBURO	39		133
17 1 85	YARUQUI	CORONAS LOMA	7		0
17 1 85	YARUQUI	EL INFO	15		29
17 1 85	YARUQUI	EL PARANGO	14		27
17 1 85	YARUQUI	EL PRADO	4		4
17 1 85	YARUQUI	EL TEJAR	210		786
17 1 85	YARUQUI	EL TEJAR ALTO	80		203
17 1 85	YARUQUI	FUCUNAUCU	14		12
17 1 85	YARUQUI	HDA. PEGUJAL	1		3
17 1 85	YARUQUI	HDA. YACUPAMBA	13		13
17 1 85	YARUQUI	HOSPITALILLO	11		22
17 1 85	YARUQUI	LA ISLA	8		17
17 1 85	YARUQUI	LA ISLA	114		384
17 1 85	YARUQUI	LA JOYA	37		99
17 1 85	YARUQUI	LA MOYA	21		52

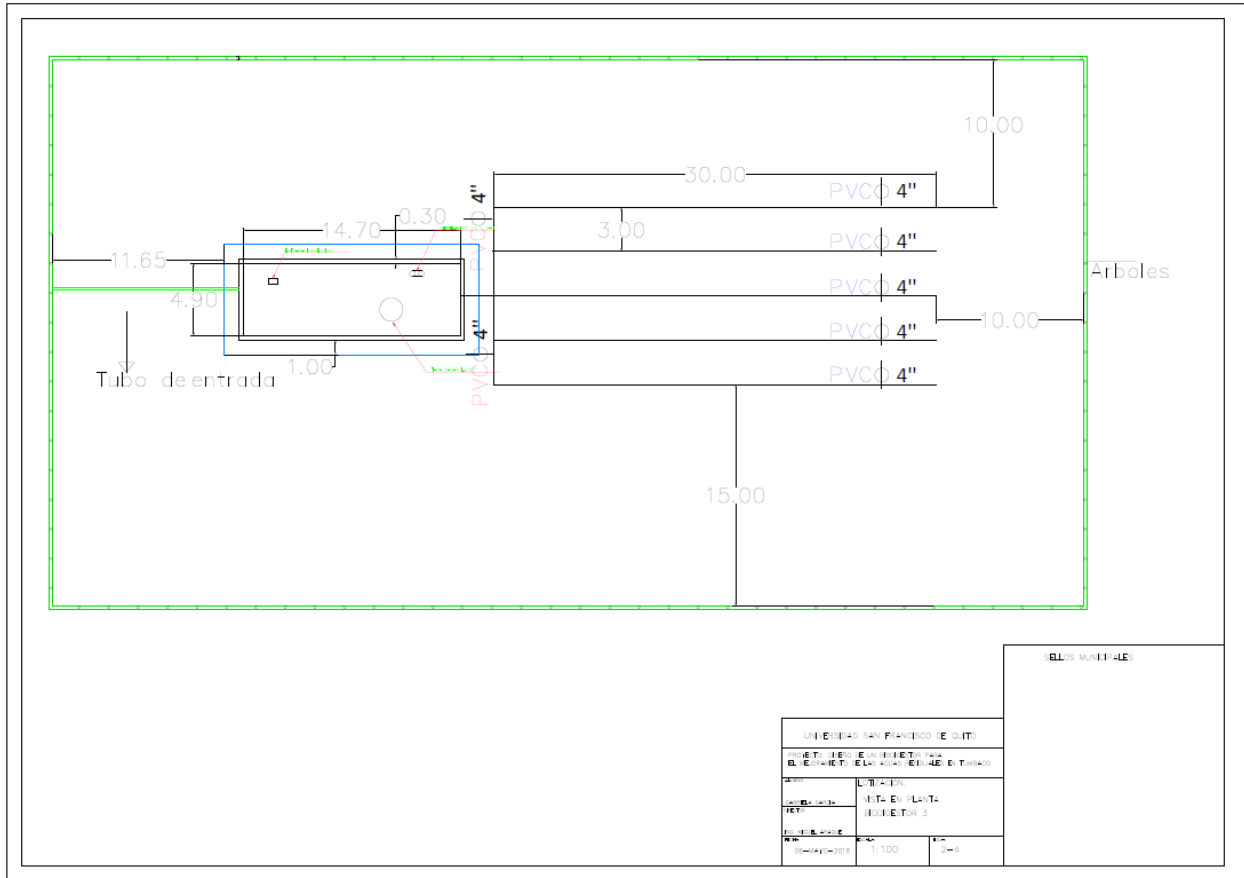
Vista en Planta Biodigestor 1

Planos A1 Escala 1:100



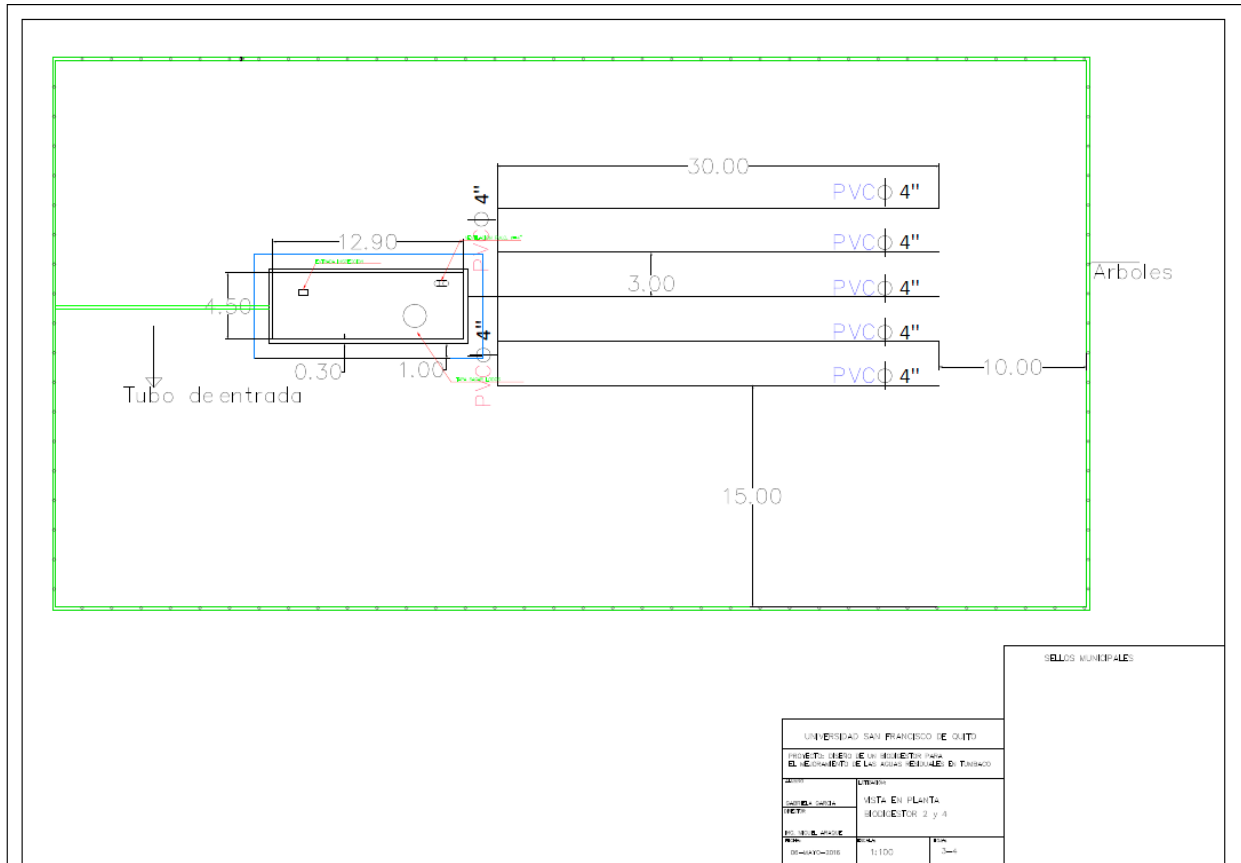
Vista en Planta Biodigestor 2

Planos A1 Escala 1:100

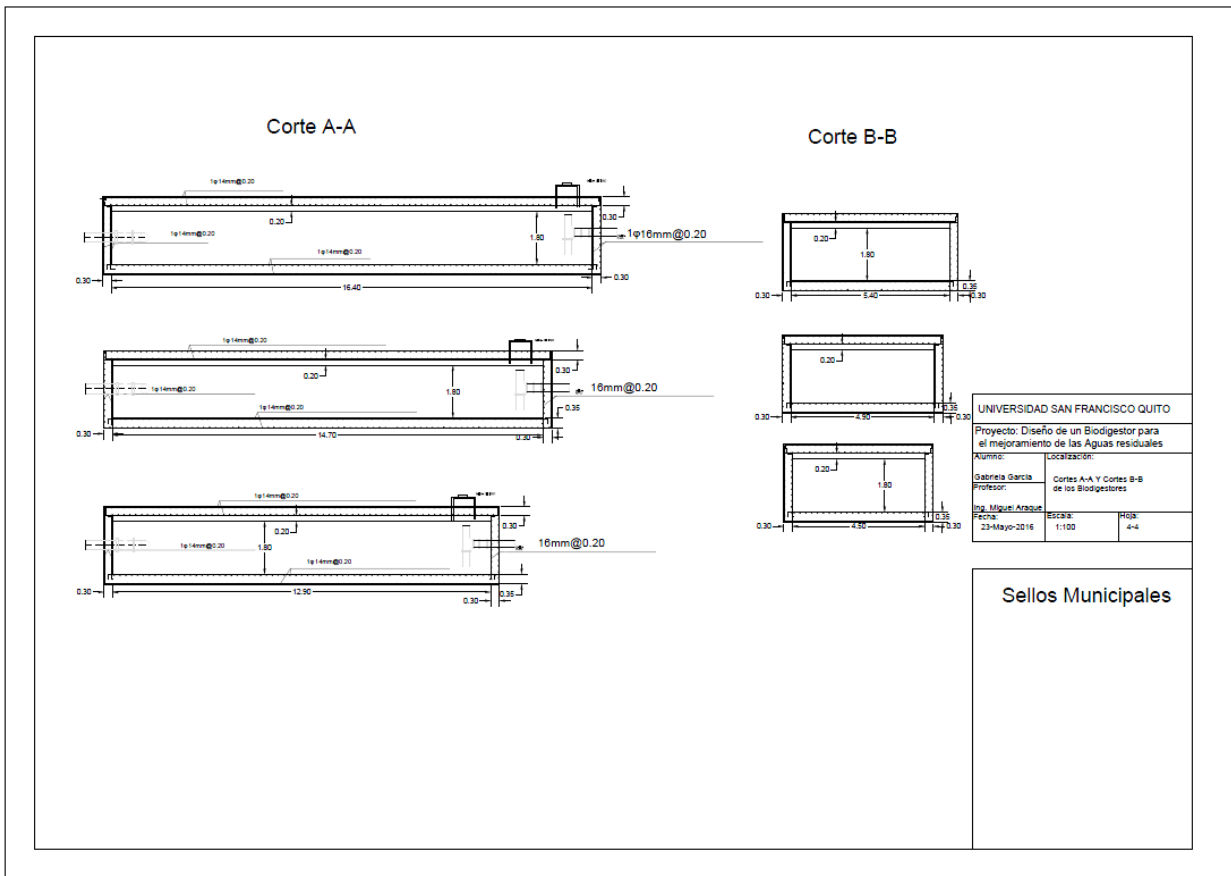


Vista en Planta Biodigestor 3

Planos A1 Escala 1:100



Corte A-A y B-B de los Biodigestores



Plano IGM Zona de Estudio

