



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**Facultad de Tecnología de la Construcción**

**Monografía**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DESCENTRALIZADO DE TRATAMIENTO  
BIOLÓGICO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DE LAS CASAS PARA  
VARONES EN LA CIUDADELA DE “NUESTROS PEQUEÑOS HERMANOS”  
EN CARAZO, NICARAGUA PARA EL 2018.**

Para optar al título de Ingeniero Civil

**Elaborado por:**

Br. Tomás Antonio Hernández Mercado

Br. Alex Amauri Valle Aranda

**Tutor:**

Ing. María Elena Baldizón Aguilar.

Managua, octubre de 2018



## RESUMEN EJECUTIVO

En las instalaciones de la fundación Nuestros Pequeños Hermanos (NPH), ubicada en la parte rural del municipio Santa Teresa, Carazo cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales inhabilitado, por lo cual las aguas residuales crudas producto del uso doméstico y sanitario son drenadas a un terreno, propiedad del NPH, causando malos olores y contaminación. Como alternativa de solución, este estudio propone los Sistemas de tratamiento descentralizados integrados y sostenibles, que se caracterizan por ser de bajo costo y fácil construcción, operación y mantenimiento.

Se presentan tres prototipos de Sistemas Descentralizados Integrados y Sostenibles para el tratamiento de aguas residuales domésticas, que contemplan un tratamiento primario como tanques séptico o biodigestor y como tratamiento secundario, filtros anaerobios de flujo ascendente y humedales, con eficiencias teóricas de remoción superiores a 80% en DBO, SS y 50% en N y P; convirtiéndose en una alternativa para la descontaminación de las aguas residuales del NPH.

Además, se compararon los costos de cada uno de los sistemas de tratamiento propuestos y sus eficiencias y se decidió por la alternativa más económica y eficiente. También se elaboró una serie de conclusiones y recomendaciones, además de un manual de operación y mantenimiento para el sistema de tratamiento diseñado que al ser implementados contribuirá a la mejora del funcionamiento de las unidades que conforman el sistema de tratamiento.



## INDICE

I. GENERALIDADES.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes .....	2
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivos .....	4
1.4.1 Objetivo general .....	4
1.4.2 Objetivos específicos .....	4
II. DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO .....	5
2.1 Posición geográfica.....	5
2.2 Generalidades del NPH.....	6
2.2.1 Breve reseña histórica.....	6
2.2.2 Situación actual .....	7
III. MARCO TEÓRICO.....	8
3.1 Aguas residuales.....	8
3.2 Tratamiento de las aguas residuales.....	9
3.2.1 Definición de tratamiento.....	9
3.2.2 Tratamiento descentralizado .....	9
3.2.3 Métodos de tratamiento.....	9
3.3 Unidades de tratamiento utilizadas .....	12
3.3.1 Unidades de tratamiento primario .....	12
3.3.2 Unidades de tratamiento secundario.....	17
3.3.3 Unidades de tratamiento terciario.....	19
3.4 Parámetros de control .....	20
3.4.1 Características físicas .....	21
3.4.1.1 Turbidez, color y olor .....	21
3.4.1.2 Temperatura.....	22
3.4.2 Características químicas .....	23
3.4.2.1 DBO y DQO.....	23
3.4.2.2 pH .....	24
3.4.3 Características biológicas .....	24
3.4.3.1 Patógenos .....	25

3.5 Parámetros de dimensionamiento.....	26
3.5.1 Carga hidráulica .....	26
3.5.2 Carga volumétrica .....	26
3.5.3 Carga orgánica aplicada .....	26
3.5.4 Volumen de lodos.....	27
3.6 Medición de consumo .....	27
3.7 Disposición final del efluente.....	28
IV. DISEÑO METODOLÓGICO .....	32
4.1 Proyección de la población .....	33
4.2 Consumo de agua.....	33
4.3 Alternativas de tratamiento propuestas .....	33
4.4 Matriz de evaluación de cada alternativa .....	34
4.5 Criterios de diseños para tanque séptico .....	34
4.6 Criterios de diseño para Filtro Anaerobio.....	38
4.7 Humedal horizontal .....	39
V. CÁLCULOS Y RESULTADOS.....	44
5.1 Análisis de las alternativas .....	44
5.2 Costo de cada alternativa.....	47
5.3 Selección de la alternativa .....	48
5.5 Diagnóstico de impacto ambiental.....	49
IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	51
6.1 Conclusiones.....	51
6.2 Recomendaciones.....	52
BIBLIOGRAFIA .....	53

## **I. GENERALIDADES**

### **1.1 Introducción**

Las tecnologías descentralizadas son de un costo relativamente bajo, por lo que pueden ser construidas y operadas por las propias comunidades, además de que permiten reducir los problemas de salud relacionados con el agua residual (UNEP/GPA, 2000). Las letrinas y las fosas sépticas sólo proveen de un tratamiento parcial y no alcanzan los estándares ambientales, por lo que muy frecuentemente están asociadas con la contaminación ambiental (Wilderer & Schreff, 2000; Bakir, 2001). Estos sistemas suelen utilizarse en áreas rurales y comunidades sin drenaje, y no son opciones viables para los planeadores y tomadores de decisiones. Sin embargo, recientemente se han diseñado nuevas tecnologías que están siendo desarrolladas a fin de proveer mejores soluciones para los tratamientos descentralizados.

Los sistemas descentralizados incluyen tecnologías con las cuales el agua residual es manejada, recolectada, tratada y dispuesta o reusada en o cerca del punto de generación (Crites & Tchobanoglous, 1998), es decir, son sistemas de manejo in situ. Se diseñan para diferentes escalas: 1) casas habitación; 2) condominios; 3) vecindarios; 4) edificios públicos; 5) áreas comerciales; 6) parques industriales; y 7) pequeñas porciones de grandes comunidades (Bakir, 2001; Crites & Tchobanoglous, 1998) a esta lista se pueden agregar los desarrollos ecoturísticos y algunas zonas periurbanas que no cuentan todavía con programas de saneamiento.

La fundación internacional Nuestros Pequeños Hermanos (NPH) se encarga de dar hogar a niños huérfanos de todo el país, y está ubicada en km 59 ½ Carretera Panamericana Sur contiguo a los Silos de ENABAS en Santa Teresa, Carazo. Las

instalaciones de NPH Carazo se encuentra en un lugar aislado fuera del casco urbano por lo que no existe alcantarillado sanitario.

La aldea del NPH en Santa Teresa da hogar a 249 niños/as huérfanos o abandonados de los cuales 122 son varones. Los niños/as viven en casas juntos con un trabajador social que cuida de ellos. Además, cuenta con 6 talleres, 11 casas de las cuales 5 son para varones, una escuela, una clínica, una cocina, una oficina y tienda de artesanía. En el área de niños varones se encuentra la oficina y la tienda de artesanía, y no se planea construir más edificios; donde cada casa puede disponer como máximo con 18 niños y un tutor; oficina y tienda a lo sumo 4 trabajadores.

Debido a lo anterior expuesto, la aldea no cuenta con una conexión de alcantarillado sanitario y se ven en la necesidad de drenar las aguas residuales a un terreno el cual es propiedad del NPH. Tanto las viviendas como la administración se encuentran conectados a un sistema de tratamiento dañado e inhabilitado y sin capacidad suficiente para cubrir la demanda actual, por lo que las aguas residuales producto del uso doméstico y sanitario en cada uno de los hogares para varones no tienen ningún tipo de tratamiento, motivo por el cual, el presente documento, se detalla el Diseño del Sistema de Tratamiento y Manual de operación y mantenimiento.

## **1.2 Antecedentes**

El objetivo de la creación de los sistemas de tratamiento descentralizados para aguas residuales es la creación de un sistema en el que los productos de la descomposición puedan ser fácilmente recogidos para su adecuada eliminación. Los científicos han sido capaces de controlar y perfeccionar los procesos biológicos aeróbicos y anaeróbicos para lograr la eliminación óptima de las sustancias orgánicas existentes en las aguas residuales.

La fundación Nuestros Pequeños Hermanos (NPH), comenzó a construir en el 2009 una nueva aldea para 250 niños y niñas huérfanos en Santa Teresa, Carazo. En la búsqueda de cómo tratar las aguas residuales se decidió, instalar un sistema de tratamiento de aguas residuales descentralizado y separar aguas negras y grises para facilitar el tratamiento y reuso de las aguas. (Gunther, 2015).

El sistema actual cuenta con un tanque séptico y un humedal horizontal de flujo horizontal para tratar las aguas grises y un biodigestor y filtro anaeróbico para las aguas negras. Este sistema tiene aproximadamente siete años de construcción, el cual no recibió ningún tipo de mantenimiento desde su inicio de operaciones. Debido a la falta de asistencia, el uso de materiales de poca calidad y mano de obra no calificada, este presenta muchos daños funcionales y estructurales. Algunos de los problemas presentes son:

- Filtraciones de agua por las paredes en el humedal horizontal de flujo horizontal, tanque séptico y filtro anaerobio.
- Daños en la losa que cubre el tanque séptico y filtro anaerobio, los cuales permiten que hojas de los arboles aledaños y solidos se depositen dentro de estos.
- Obstrucción en tuberías de todo el sistema.
- Falta de capacidad para cubrir la demanda actual de la aldea en el NPH.

### **1.3 Justificación**

El presente trabajo servirá para proporcionar una solución al problema sobre el tratamiento de las aguas residuales en las aldeas del NPH Santa Teresa, evitando que niños, trabajadores y visitantes se vean afectados por enfermedades y malos olores. Esta investigación también tiene como finalidad reducir la contaminación en los suelos y cuerpos de agua cercanos.

El sistema de tratamiento a utilizar se escogió por ser un sistema de bajo mantenimiento en donde todas sus partes trabajan sin energía y no puede ser

apagado intencionalmente. La implementación de este método provee lo último en tecnología a precios asequibles, porque todos los materiales usados en la construcción están disponibles localmente.

Los resultados obtenidos de este estudio serán de gran utilidad para la Fundación NPH de Carazo y la organización no gubernamental BORDA Nicaragua, ya que, los planos finales pueden ser utilizados para la construcción de la planta descentralizada.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Diseñar un sistema biológico descentralizado para el tratamiento de aguas residuales conforme las normas nacionales sobre la calidad del agua.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

1. Calcular el gasto de aguas residuales de las casas de varones para realizar el diseño de las alternativas.
2. Realizar levantamiento topográfico para la obtención de las pendientes del terreno donde se localizará la planta de tratamiento.
3. Diseñar las alternativas propuestas para seleccionar la más económica y eficiente conforme a las normas del INAA.
4. Elaborar planos constructivos de la alternativa seleccionada para una construcción apropiada del sistema.
5. Calcular la cantidad de los materiales y precios unitarios para la obtención de un aproximado del costo total de la obra utilizando los planos.
6. Presentar un manual de operación y mantenimiento de la alternativa seleccionada para un correcto funcionamiento de la planta de tratamiento.
7. Realizar una valoración ambiental del proyecto.

## II. DESCRIPCIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO

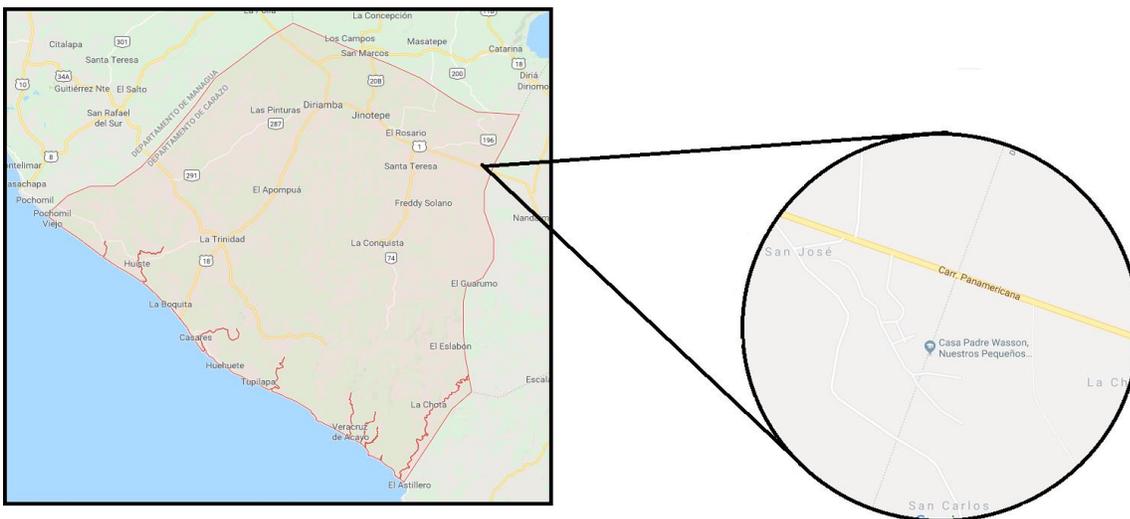
### 2.1 Posición geográfica

La aldea “Casa padre Wasson” de Nuestros Pequeños Hermanos (NPH), Santa Teresa, Carazo está ubicada en el km 59 ½ Carretera Panamericana Sur contiguo a los Silos de ENABAS. Se encuentra ubicado exactamente en las coordenadas 11°47'46.5"N y 86°05'26.4"W como se observa en Anexo A.

**Figura 1. Macro localización**



**Figura 2. Micro localización**



## **2.2 Generalidades del NPH**

### **2.2.1 Breve reseña histórica**

En 1954, un niño fue arrestado por robar la caja de limosnas de una parroquia en Cuernavaca, Morelos, México. Un joven sacerdote, de los Estados Unidos, Padre William Wasson, no estuvo dispuesto a presentar cargos contra el joven, en lugar de hacerlo pidió la custodia del muchacho. Una semana después el juez le mandó ocho muchachos desamparados más. Al final del año, ya había 32 niños, y así nació "Nuestros Pequeños Hermanos".

Más de 18,200 niños se han criado en la familia de NPH, la cual, ahora tiene casas operando en nueve países: México, Honduras, Haití, Nicaragua, Guatemala, El Salvador, República Dominicana, Perú y Bolivia. Actualmente más de 3,300 niños/as son cuidados en un ambiente de amor y seguridad.

En 1995 se abrió la primera aldea de NPH en Nicaragua ubicada en la isla de Ometepe pero la familia de NPH Nicaragua se mudó de la paradisíaca isla Ometepe. Una de las razones es debido al volcán Concepción; estar donde hay un volcán activo es una amenaza para Casa Santiago y los pequeños. Además de que la vida en Ometepe se ha vuelto más cara, también el acceso a médicos especialistas y a miembros adecuados del personal está limitado en la isla. Una nueva propiedad fue adquirida en tierra firme, en medio de dos ciudades, Jinotepe y Nandaime, y con eso vino el reto de hacer una nueva casa.

A principios de 2009, el primer grupo de pequeños dejó su casa familiar en Casa Santiago para ir a vivir a las primeras casas que se habían construido en la nueva propiedad con el nombre de su amado Padre Wasson. Cuando llegaron se establecieron en dos casas, una para las niñas y otra para los niños, las otras dos casas eran para las visitas y la clínica. Desde entonces la construcción ha continuado con una velocidad increíble y también ha habido un aumento en el número de pequeños.

### **2.2.2 Situación actual**

La aldea “casa padre Wasson” dispone de hogares para niños los cuales están divididos en cinco casas para varones y cuatro casas para mujeres, además de otros edificios como: el comedor, cancha de deportes, escuela, junto con dos casas más para los niños más pequeños, casa de los bebés, clínica, capilla, casa del director y la casa de los voluntarios.

La aldea del NPH en Santa Teresa da hogar en sus programas de desarrollo a 249 niños/as huérfanos o abandonados de los cuales 122 son varones, (ver tabla A-1. Población del NPH en apéndice A) y el resto son mujeres. En cada casa se pueden albergar 18 niños, los cuales cuentan con un tutor por casa que cuida de ellos.

La topografía del lugar es plana en donde se encuentran la mayoría de los edificios, sin embargo, en sus alrededores existe un terreno ondulado. En las zonas onduladas es donde se encuentra la cancha y la inhabilitada planta de tratamiento para las casas de varones. En la figura A-2 del anexo A se muestra la distribución de los edificios existentes en la aldea casa padre Wasson.

### **III. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Aguas residuales**

Las aguas residuales son cualquier tipo de agua cuya calidad se vio afectada negativamente por influencia antropogénica. Las aguas residuales incluyen las aguas usadas domésticas y urbanas, y los residuos líquidos industriales o mineros eliminados, o las aguas que se mezclaron con las anteriores (aguas pluviales o naturales). Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación.

**Aguas Residuales Domésticas Tratadas:** Se refieren a las que han sido sometidas a una serie de procesos físicos, químicos y/o biológicos mediante los cuales los sólidos que el líquido contiene son separados parcialmente y el resto de los sólidos orgánicos complejos putrescibles son convertidos en sólidos minerales o en sólidos orgánicos relativamente estables, inocuos al ser humano; así también se realiza la reducción de microorganismos patógenos.

**Aguas Limpias de Desechos:** Son aguas provenientes de calderas, torres de enfriamiento, refrigeración, calentamiento y del condensado de vapor.

Según la FAO (Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura) define como aguas residuales “Agua que no tiene valor inmediato para el fin para el que se utilizó ni para el propósito para el que se produjo debido a su calidad, cantidad o al momento en que se dispone de ella. No obstante, las aguas residuales de un usuario pueden servir de suministro para otro usuario en otro lugar. Las aguas de refrigeración no se consideran aguas residuales.”

Las aguas residuales pueden provenir de diferentes lugares, dependiendo de su origen pueden ser clasificados como: Aguas residuales domésticas, aguas residuales industriales, aguas residuales municipales y aguas residuales agrícolas.

## **3.2 Tratamiento de las aguas residuales**

### **3.2.1 Definición de tratamiento**

El término “tratamiento” significa la separación de sólidos y estabilización de contaminantes. En cambio, estabilización significa la degradación de materia orgánica mientras el punto, el cual, la reacción química o biológica se detiene. Tratamiento también puede significar la remoción de tóxicos u otras sustancias peligrosas (por ejemplo, metales pesados o fósforos) el cual es probable que dañe el ciclo biológico sustentable, incluso después de la estabilización en la materia orgánica (BORDA, 1998).

### **3.2.2 Tratamiento descentralizado**

El enfoque descentralizado emplea un sistema de tratamiento *in situ* que contempla la combinación de tecnologías mediante las cuales se da el manejo, recolección, tratamiento y desecho de las aguas residuales cerca de su punto de su generación (Parkinson & Tayler, 2003; Seidenstat et al, 2003). El mismo se diseña para operar en barrios o comunidades de menor escala y baja densidad, pudiéndose adaptar a condiciones desfavorables como en áreas de topografía adversa (EPA, 2004).

En lo concerniente a la sostenibilidad, los sistemas descentralizados de manejo de aguas residuales permiten la implementación de tecnologías simples y su manejo es altamente flexible, motivo por el cual se convierten en una solución fiable a largo plazo y rentable para comunidades pequeñas (Massoud et al, 2009).

### **3.2.3 Métodos de tratamiento**

Los contaminantes presentes en el agua residual pueden eliminarse por métodos físicos, químicos y biológicos. Los métodos individuales se describen por

operaciones físicas unitarias, procesos químicos unitarios y procesos biológicos unitarios.

En las operaciones físicas, predomina la aplicación de las fuerzas físicas, como son las rejillas, mezclado, floculación, sedimentación, flotación y filtración.

Los procesos químicos: la eliminación de contaminantes es provocado por la adición de compuestos químicos o por otras reacciones químicas como, la precipitación, transferencia de gases, adsorción y la desinfección.

Los procesos biológicos: son los métodos de tratamiento en los cuales se consigue la eliminación de contaminantes por la actividad biológica. El tratamiento biológico se usa especialmente para eliminar las sustancias orgánicas biodegradables (coloidales o disueltas) presentes en el agua residual. Estas sustancias se convierten en gases que pueden escapar a la atmósfera y en tejido celular biológico que puede eliminarse por sedimentación.

Dependiendo del tipo de bacterias que se aclimate, se tratará de un proceso aeróbico (bacterias aeróbicas), anaerobio (bacterias anaerobias) o facultativo (bacterias que se desenvuelven tanto en ambientes anaerobios como aeróbicos).

**Procesos aerobios:** Son los procesos de tratamiento biológico que se dan en presencia de oxígeno. Los más empleados son el de lodos activados y tratamientos de bajo coste: filtros percoladores, biodiscos, biocilindros, lechos de turba, filtros verdes y lagunaje (este sistema se puede considerar como "mixto", ya que se dan tanto en procesos aerobios como anaerobios, dependiendo de la profundidad). En todos estos procesos, la materia orgánica se descompone convirtiéndose en dióxido de carbono, y en especies minerales oxidadas.

**Procesos anaerobios.** Procesos de tratamiento biológico que se dan en ausencia de oxígeno. La digestión anaerobia es uno de los procesos más antiguos usados en la estabilización de fangos. En él se produce la descomposición de la materia orgánica e inorgánica en ausencia de oxígeno molecular. En este proceso la materia contenida en la mezcla de fangos primarios y biológicos se convierte biológicamente, bajo condiciones anaerobias, en metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Este proceso se lleva a cabo en un reactor completamente cerrado, de forma continua e intermitente, y permanecen en su interior durante períodos de tiempo variables.

Presenta una serie de ventajas frente a la digestión aerobia: generalmente requiere de instalaciones menos costosas, no hay necesidad de suministrar oxígeno por lo que el proceso es más barato y el requerimiento energético es menor. Por otra parte, se produce una menor cantidad de lodo.

**Procesos facultativos.** Son los procesos de tratamiento biológico en los que los organismos responsables pueden funcionar en presencia o ausencia de oxígeno molecular. Estos organismos se conocen con el nombre de organismos facultativos.

Dependiendo de la tecnología, los tratamientos se clasifican en convencionales y no convencionales:

**Los procesos convencionales** abarcan aquellos que involucran mecanización de los sistemas.

**No convencionales** no involucran mecanización, pero requieren grandes áreas de terreno y están enfocados mayormente al tratamiento de aguas servidas domésticas.

Dependiendo del orden de los procesos, los tratamientos o del nivel que se apliquen pueden ser, preliminar, primario, secundario o terciario. Las unidades más importantes de cada uno se presentan en **Tabla 1**.

**Tabla 1. Tipos de tratamientos**

Tratamiento Preliminar	Tratamiento Primario	Tratamiento secundario	Tratamiento Terciario
Rejas. Tamices. Cajas de arenas. Trituración Retenedores de grasas. Homogenizadores. Reguladores de caudal. Aireación preliminar.	Sedimentación (tanque séptico) Flotación Coagulación Digestión y secado de lodos Sistemas compactos (tanque Imhoff)	Filtros Anaerobios Reactor UASB Lodos Activados Zanjas de oxidación Filtros percoladores Filtración lenta Filtración rápida Lagunas de Estabilización: Facultativas y aerobias y aireadas Lagunas con macrofitas Biofiltros. Lechos de carbón Biodiscos. Sedimentación secundaria Cloración	Biodiscos Lechos bacterianos Lagunas de maduración Lagunas de macrofitas (Humedales) Biofiltros Sistemas de aplicación al suelo en general Filtros, ultrafiltración y desinfección.

**Fuente: Normas NTON 05 027-05**

### 3.3 Unidades de tratamiento utilizadas

#### 3.3.1 Unidades de tratamiento primario

En este tipo de tratamiento lo que se busca es remover los materiales que son posibles de sedimentar, usando tratamientos físicos o fisicoquímicos. En algunos casos dejando, simplemente, las aguas residuales un tiempo en grandes tanques o en el caso de los tratamientos primarios mejorados, añadiendo al agua contenida en estos grandes tanques, sustancias químicas.

La sedimentación física es el proceso mediante el cual se dejan asentar por gravedad los sólidos en suspensión en las aguas residuales. Las bacterias que crecen en este medio, junto con otros sólidos, se retiran en un tanque de

sedimentación secundaria y se hacen entrar de nuevo al tanque de ventilación. En este tipo de tratamiento se pueden retirar de un 60 a un 65% de los sólidos sedimentables y de 30 a 35% de los sólidos suspendidos en las aguas residuales.

Algunos de los sistemas de tratamiento primario para aguas residuales son:

- Tanque séptico
- Biodigestor
- Tanque Imhoff

### **3.3.1.1 Tanque séptico**

Los tanques sépticos se utilizan por lo común para el tratamiento de las aguas residuales de familias que habitan en localidades que no cuentan con servicios de alcantarillado o que la conexión al sistema de alcantarillado les resulta costosa por su lejanía. El uso de tanques sépticos se permitirá en localidades rurales, urbanas y urbano marginales.

Los desechos de las letrinas con arrastre hidráulico, y quizás también de las cocinas y de los baños, llegan a través de desagües a un tanque séptico herméticamente cerrado, donde son sometidos a tratamiento parcial. Tras un cierto tiempo, el líquido parcialmente tratado sale del tanque séptico y se elimina, a menudo en el suelo, a través de pozos de percolación o de zanjas de infiltración.

Uno de los principales objetivos del diseño del tanque séptico es crear dentro de este una situación de estabilidad hidráulica, que permita la sedimentación por gravedad de las partículas pesadas. El material sedimentado forma en la parte inferior del tanque séptico una capa de lodo, que debe extraerse periódicamente. Si llegan repentinamente al tanque grandes cantidades de líquido, la concentración de sólidos en suspensión en el efluente puede aumentar temporalmente, debido a la agitación de los sólidos ya sedimentados.

La grasa, el aceite y otros materiales menos densos que flotan en la superficie del agua formando una capa de espuma pueden llegar a endurecerse considerablemente. El líquido pasa por el tanque séptico entre dos capas constituidas por la espuma y los lodos. El líquido contenido en el tanque séptico experimenta transformaciones bioquímicas, pero se tiene pocos datos sobre la destrucción de los agentes patógenos. Tanto Majumber y sus colaboradores (1960) hallaron que, aunque los tanques sépticos estudiados habían destruidos del 80% al 90% de los huevos de anquilostomas y *Ascaris*, en términos absolutos el efluente aun contenía grandes cantidades de huevos viables, que estaban presentes en el 90% de las muestras.

Como el efluente de los tanques sépticos es anaerobio y contiene probablemente un elevado número de agentes patógenos, que son una fuente potencial de infección, no debe usarse para regar cultivos ni descargarse canales o aguas superficiales sin permiso de la autoridad sanitaria de acuerdo al reglamento nacional vigente. (OPS, 2005).

El ingeniero responsable del proyecto debe tener en claro las ventajas y desventajas que tiene el emplear el tanque séptico para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, antes de decidir emplear esta unidad en una determinada localidad.

## **Ventajas**

- Apropriado para comunidades rurales, edificaciones, condominios, hospitales, etc.
- Su limpieza no es frecuente.
- Tiene un bajo costo de construcción y operación.
- Mínimo grado de dificultad en operación y mantenimiento si se cuenta con infraestructura de remoción de lodos.

## **Desventajas**

- De uso limitado para un máximo de 350 habitantes.
- También de uso limitado a la capacidad de infiltración del terreno que permita disponer adecuadamente los efluentes en el suelo.
- Requiere facilidades para la remoción de lodos (bombas, camiones con bombas de vacío, etc.)

### **3.3.1.2 Biodigestor**

En este trabajo se propone el uso del biodigestor autolimpiable Rotoplas debido a la simplicidad de trabajo e instalación y bajo costo de mantenimiento.

El sistema de saneamiento biodigestor autolimpiable Rotoplas es ideal para zonas que no cuentan con drenaje, además sustituye de manera eficiente el uso de fosas sépticas haciendo un tratamiento primario de aguas negras. Es un sistema ecológico que no contamina mantos freáticos, lagos ni ríos, no necesita gasto de mantenimiento ya que es autolimpiable, no se fisura ni tiene filtraciones.

El biodigestor autolimpiable de Rotoplas permite resolver necesidades de saneamiento a través de diferentes capacidades de caudal, respondiendo así a los requerimientos de las diferentes obras.

Su estructura está fabricada con doble pared, la interior para brindar mayor resistencia y aislación térmica. Y la exterior para darle una superficie lisa con aditivos que evitan que se deteriore por estar a la intemperie.

### **Funcionamiento del biodigestor autolimpiable Rotoplas**

El biodigestor autolimpiable Rotoplas es un tanque hermético que funciona siempre lleno, por rebalse, a medida que entra agua residual desde la casa, una cantidad igual sale por el otro extremo.

Los pasos de su funcionamiento son los siguientes:

- Entrada de agua residual.
- Separación de lodos y aguas (primera etapa).
- Digestión anaerobia y paso a través de cama de lodos (segunda etapa).
- Filtro anaerobio (tercera etapa).

Está conformado por los diferentes componentes que poseen microorganismos que se encargan de realizar el tratamiento necesario a las aguas residuales:

Costra: dentro de esta, los microorganismos se encargan de disolver y degradar los sólidos orgánicos.

Líquido: este contiene microorganismos, nutrientes y materia orgánica disuelta.

Lodos: al igual que en la costra, los microorganismos disuelven y degradan los sólidos orgánicos.

Digestión anaeróbica: en este paso se lleva a cabo una descomposición de materia orgánica en ausencia de aire para luego ingresar al filtro.

Filtro: en su interior hay esferas Biolam, los cuales tienen en su superficie bacterias que se encargan de completar el tratamiento de filtrado de afluente

## **Beneficios**

- Utiliza un proceso anaerobio (separa los líquidos de las grasas) para realizar un tratamiento primario del agua.
- Puede ser instalado en cualquier vivienda que no cuente con servicio de drenaje, con el fin de tratar las aguas residuales domésticas.
- Cuida el medio ambiente, previene la contaminación de mantos acuíferos.
- Es un sistema autolimpiable, al sólo abrir una llave se extraen los lodos residuales sin necesidad de usar equipo especializado.
- No requiere equipo electromecánico como bomba o camión de desazolve para su mantenimiento, eliminando costos adicionales para el usuario.

- Es hermético, construido de una sola pieza para evitar fugas y agrietamientos. Es ligero y fuerte ofreciendo una alta resistencia a impactos y a la corrosión.
- El biodigestor autolimpiable cumple con la NOM-006-CONAGUA-1997 “Fosas sépticas prefabricadas – especificaciones y métodos de prueba”.

### **3.3.2 Unidades de tratamiento secundario**

El objetivo de este tratamiento es remover la demanda biológica de oxígeno (DBO) soluble que escapa a un tratamiento primario, además de remover cantidades adicionales de sólidos sedimentables.

El tratamiento secundario intenta reproducir los fenómenos naturales de estabilización de la materia orgánica, que ocurre en el cuerpo receptor. La ventaja es que en ese proceso el fenómeno se realiza con más velocidad para facilitar la descomposición de los contaminantes orgánicos en períodos cortos de tiempo. Un tratamiento secundario remueve aproximadamente 85% de la DBO y los S.S. aunque no remueve cantidades significativas de nitrógeno, fósforo, metales pesados, demanda química de oxígeno (DQO) y bacterias patógenas.

Además de la materia orgánica se va a presentar gran cantidad de microorganismos como bacterias, hongos, protozoos, rotíferos, etc, que entran en estrecho contacto con la materia orgánica la cual es utilizada como su alimento. Los microorganismos convierten la materia orgánica biológicamente degradable en CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O y nuevo material celular. Además de estos dos ingredientes básicos microorganismos – materia orgánica biodegradable, se necesita un buen contacto entre ellos, la presencia de un buen suministro de oxígeno, aparte de la temperatura, PH y un adecuado tiempo de contacto.

En el presente trabajo, se tomarán como parte de alguna alternativa el filtro anaeróbico de flujo ascendente y el humedal horizontal de flujo subsuperficial, a continuación, se hablará de cada uno de estos mecanismos.

### **3.3.2.1 Filtro Anaerobio de flujo ascendente**

El filtro anaeróbico de flujo ascendente es una alternativa para dar un tratamiento complementario al efluente de un tanque séptico.

El dimensionamiento de los filtros anaerobios de flujo ascendente se basa fundamentalmente en experiencias observadas por diferentes investigadores, quienes han fijado los intervalos de operación para cargas hidráulicas y cargas volumétricas en función del gasto y la carga orgánica. (CONAGUA)

**3.3.2.2 Humedal de flujo subsuperficial.** Los humedales artificiales son zonas construidas por el hombre en las que, de forma controlada, se reproducen mecanismos de eliminación de contaminantes presentes en aguas residuales, que se dan en los humedales naturales mediante procesos físicos, biológicos y químicos.

El carácter artificial de este tipo de humedales viene definido por: el confinamiento del humedal, el cual se construye mecánicamente y se impermeabiliza para evitar pérdidas de agua al subsuelo, el empleo de sustratos diferentes del terreno original para el enraizamiento de las plantas y la selección de las plantas que van a colonizar el humedal.

La tecnología de humedales artificiales puede ser considerada como un ecosistema en el que los principales actores son:

- El sustrato: sirve de soporte a la vegetación, permitiendo la fijación de la población microbiana, que va a participar en la mayoría de los procesos de eliminación de los contaminantes.
- La vegetación (macrofitas): contribuye a la oxigenación del sustrato, a la eliminación de nutrientes y sobre la que su parte subterránea también se desarrolla la comunidad microbiana.
- El agua a tratar: circula a través del sustrato y de la vegetación.

Los mecanismos involucrados en la eliminación de los principales contaminantes presentes en las aguas residuales urbanas, mediante el empleo de humedales artificiales son:

- Eliminación de sólidos en suspensión mediante procesos de sedimentación, floculación y filtración.
- Eliminación de materia orgánica mediante los microorganismos presentes en el humedal, principalmente bacterias, que utilizan esta materia orgánica como sustrato. A lo largo del humedal existen zonas con presencia o ausencia de oxígeno molecular, por lo que la acción de las bacterias sobre la materia orgánica tiene lugar tanto a través de procesos biológicos aerobios como anaerobios.
- Eliminación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, principalmente mediante mecanismos de nitrificación – desnitrificación y precipitación.
- Eliminación de patógenos mediante adsorción, filtración o depredación.
- Eliminación de metales pesados como cadmio, cinc, cobre, cromo, mercurio, selenio, plomo, etc.

En los humedales de flujo subsuperficial de flujo horizontal (humedal horizontal ), el agua fluye por debajo de la superficie de un medio poroso sembrado de plantas emergentes. El medio poroso es comúnmente grava gruesa y arena con espesores de 0.45 a 1.0 cm y pendiente de 0.00 a 0.005. Estos humedales requieren menos áreas que otros tipos, y no tienen problemas de malos olores y mosquitos, sin embargo, tiene un costo mayor debido al uso de grava y riesgo de taponamiento. La vegetación es similar a la utilizada en los humedales con espejo de agua y no se requiere cosechar las plantas.

### **3.3.3 Unidades de tratamiento terciario**

Si el agua que ha de recibir el vertido requiere un grado de tratamiento mayor que el que puede aportar el proceso secundario, o si el efluente va a reutilizarse, es necesario un tratamiento avanzado de las aguas residuales. A menudo se usa el

término tratamiento terciario como sinónimo de tratamiento avanzado, pero no son exactamente lo mismo. El tratamiento terciario, o de tercera fase, suele emplearse para eliminar el fósforo, mientras que el tratamiento avanzado podría incluir pasos adicionales para mejorar la calidad del efluente eliminando los contaminantes recalcitrantes. Hay procesos que permiten eliminar más de un 99% de los sólidos en suspensión y reducir la DBO5 en similar medida. Los sólidos disueltos se reducen por medio de procesos como la ósmosis inversa y la electrodiálisis. La eliminación del amoníaco, la desnitrificación y la precipitación de los fosfatos pueden reducir el contenido en nutrientes. Si se pretende la reutilización del agua residual, la desinfección por tratamiento con ozono es considerada el método más fiable, excepción hecha de la cloración extrema.

Es probable que en el futuro se generalice el uso de estos y otros métodos de tratamiento de los residuos a la vista de los esfuerzos que se están haciendo para conservar el agua mediante su reutilización.

Algunos de los sistemas naturales usados como tratamiento terciario de aguas residuales son:

- Proceso de nitrificación y desnitrificación
- Proceso de eliminación de fósforos
- Biodisco
- Filtros verdes
- Humedal de flujo subsuperficial
- Lagunas de maduración

### **3.4 Parámetros de control**

La generación de las aguas residuales es un producto inevitable de toda actividad humana. Para lograr un tratamiento y disposición final apropiado de las mismas, es indispensable conocer sus **características físicas, químicas y**

**microbiológicas**, la interpretación de los resultados obtenidos de los parámetros analizados, y de sus efectos principales sobre la fuente receptora.

Todo cuerpo de agua tiene la capacidad de depurar, asimilar y transformar cierta cantidad de contaminantes, especialmente de origen orgánico. Por tal razón se consideran a los ríos como los receptores naturales de las aguas residuales. Sin embargo, si se arrojan aguas residuales a un cuerpo de agua, en exceso de la capacidad de asimilación de contaminantes del agua receptora, este se verá disminuido en su calidad y aptitud para usos benéficos por parte del hombre.

Las aguas residuales presentan características físicas, químicas y biológicas especiales a diferencia de las demás aguas. Conocer estas características es de vital importancia para poder establecer las diferentes cargas orgánicas y los sólidos que transportan, los efectos del vertimiento a un cuerpo de agua, y la selección de procesos y operaciones que resulten eficaces para el tratamiento de estas.

### **3.4.1 Características físicas**

Entre las principales características físicas del agua residual están: temperatura, olor, color, turbiedad, sólidos y materia flotante.

#### **3.4.1.1 Turbidez, color y olor**

La turbidez de una muestra de agua es la medida de la interferencia que presentan las partículas en suspensión al paso de la luz. Se debe a la arcilla, al lodo, a las partículas orgánicas, a los organismos microscópicos y a cuerpos similares que se encuentran suspendidos en el agua. La turbidez nos da una noción de la apariencia del agua y sirve para tener una idea acerca de la eficiencia de su tratamiento.

El color del agua se debe a la presencia de sustancias orgánicas disueltas o coloidales, sustancias inorgánicas disueltas, así como cuerpos vivos presentes, tales como algas. Cuando hay turbidez, el agua presenta un color evidente y para obtener el color verdadero se recurre a algún mecanismo técnico. El color constituye una característica de orden estético y su acentuada concentración puede causar cierto rechazo.

En el agua, todas las sustancias inorgánicas pueden producir olor y sabor, según la concentración en que se encuentren. Los seres vivos, como las algas, el plancton, etcétera, también pueden producir olor y sabor. Debe recordarse que el cloro, además de ser desinfectante, puede quitar el olor, el sabor, e impedir la proliferación de algas (que producen olor, sabor y color); eliminar el fierro y el manganeso y coagular las materias orgánicas. Sin embargo, cuando el cloro está presente en exceso, puede producir olor y sabor en el agua (principalmente cuando esta tiene fenol).

#### **3.4.1.2 Temperatura**

La temperatura es importante porque el crecimiento de las bacterias incrementa con temperaturas altas. Debido a la poca energía ganada como un resultado de una descomposición anaeróbica incompleta, los procesos aeróbicos son menos sensitivos a bajas temperaturas que el proceso anaeróbico. Esto es obvio desde el hecho que el biogás es todavía oxidable por lo tanto un producto final rica en energía. Temperaturas entre 25° y 35°C son más ideal para digestión anaeróbica. 18° a 25°C también es bueno. La temperatura ambiente en zonas tropicales y subtropicales es casi ideal para tratamiento anaeróbico y como tal no es problemático para DEWATS (Tratamiento de aguas residuales descentralizada por sus siglas en inglés).

### **3.4.2 Características químicas**

Entre las principales características químicas de las aguas residuales se encuentra: potencial hidrogeno, nitrógeno, fósforo, azufre, aceites y grasas, metales pesados, detergentes y materia orgánica (Demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno).

#### **3.4.2.1 DBO y DQO**

La DBO, Demanda Biológica de Oxígeno (BOD en inglés, Biological Oxygen Demand), y la DQO, Demanda Química de Oxígeno (COD en inglés, Chemical Oxygen Demand), son unos de los parámetros más importantes en la caracterización (medición del grado de contaminación) de las aguas residuales.

La DBO es la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aeróbicas o anaeróbicas), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en  $\text{mgO}_2/\text{l}$ . La DBO es un proceso biológico y por lo tanto es delicado y requiere mucho tiempo. Como el proceso de descomposición depende de la temperatura, se realiza a  $20^\circ\text{C}$  durante 5 días de manera estándar, denominándose  $\text{DBO}_5$ . Se tomó 5 días como estándar porque es el tiempo medio que los ríos británicos tardan en llegar al mar.

Por otra parte, la DQO es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . Se expresa también en  $\text{mgO}_2/\text{l}$  cuanto mayor es la DQO, más contaminada está el agua. La DQO es una prueba que solo toma alrededor de tres horas, por lo que los resultados se pueden tener en mucho menor tiempo que lo que requiere una prueba de DBO.

La diferencia principal entre la DBO y la DQO es que la segunda engloba la primera, e incluye más cosas. En la DBO sólo se detecta el material orgánico degradado biológicamente o que es biodegradable, mientras que en la DQO se busca la oxidación completa de la muestra, de manera que todo el material

orgánico, biodegradable y no biodegradable, es químicamente oxidado. Para una muestra dada de agua, el valor de DQO siempre ha de ser mayor que el de DBO. DBO y DQO están relacionadas y mantienen su relación para cada tipo de agua. La relación entre ellas no es igual para diferentes tipos de agua, pero aguas industriales del mismo tipo tienen parecida relación DBO/DQO.

### **3.4.2.2 pH**

El pH determina si el agua es ácida (aquella característica que provoca la corrosión de las tuberías de hierro), neutra o básica. Una solución que tenga pH menor que 7 es ácida, la que tenga un pH equivalente a 7 es neutra y, si el pH es mayor que 7, la solución es alcalina.

### **3.4.3 Características biológicas**

Las aguas residuales contienen un gran número de microorganismos vivos cuya función es la de descomponer, transformar, y fermentar la materia orgánica utilizando o no el oxígeno disuelto por medio de procesos aerobios o anaerobios. Estos microorganismos pueden ser de origen vegetal: plantas, semillas, helechos; de origen animal: microorganismos vertebrados e invertebrados; o de origen protista: bacterias, hongos, protozoos y algas. También están presentes varios microorganismos patógenos como los coliformes los cuales mueren rápidamente al encontrarse en un hábitat extraño. Cada uno de estos grupos de microorganismos, constituyen un papel primordial como indicadores de la calidad del agua residual.

Los análisis de laboratorio son usados para entender la cantidad y calidad de la carga contaminante, la factibilidad del tratamiento, el impacto ambiental y el potencial de ciertas aguas residuales para la producción de biogás. Algunas propiedades pueden ser vistas y entendidas por observación de personas experimentadas. Técnicas de análisis detallados pueden ser encontrados en libros para trabajos de laboratorio o libros de comprensión sobre aguas residuales,

como Metcalf & Eddy's "wastewater engineering". Los parámetros de control más comunes en el manejo de aguas residuales son:

### **3.4.3.1 Patógenos**

La Organización mundial de la salud (OMS) distingue entre transmisión de alto riesgo por parásitos intestinales, y riesgo relativamente bajo de transmisión de enfermedades causadas por bacterias patogénicas. El número de huevos helmintos y el número de coliformes fecales son indicativos de estos riesgos. El estándar de la OMS permite irrigación menor que 10,000 e-coli por litro y menos que 1 huevo helminto. La bacteria e-coli no es patogénica, pero es usada como un indicador de bacterias fecales.

Coliforme Total: Bacilo gramnegativo no esporulado, que puede desarrollarse en presencia de sales biliares u otros agentes tensoactivos con similares propiedades de inhibición de crecimiento, no tienen citocromo oxidasa y fermentan la lactosa con producción de ácido, gas y aldehído a 35 ó 37 °C, en un periodo de 24 a 48 horas.

Coliforme Fecal: Los microorganismos que tienen las mismas propiedades, de los coliformes totales, a una temperatura de 44 ó 44.5 °C. También se les designa Coliformes Termorresistentes o Termotolerantes.

Escherichia coli (E. coli): Son presuntos E. coli las bacterias Coliformes Fecales que fermentan la lactosa y otros sustratos adecuados como el manitol a 44 ó 44.5 °C con producción de gas, y que también producen indol a partir del triptofano. La confirmación de que en verdad se trata de E. coli se logra mediante el resultado positivo en la prueba con el indicador rojo de metilo, la comprobación de la ausencia de síntesis de acetilmetilcarbinol y de que no se utiliza el citrato como única fuente de carbón. La E. Coli es el indicador más preciso de contaminación fecal.

### **3.5 Parámetros de dimensionamiento**

#### **3.5.1 Carga hidráulica**

La carga hidráulica describe el volumen de agua residual aplicada diariamente por unidad de superficie del reactor o por área de filtro. Las dimensiones más comunes de los reactores son:  $m^3/(m^2 \cdot d)$ , el cual significa  $1m^3$  de agua residual es aplicado a  $1m^2$  de área del reactor por día.

#### **3.5.2 Carga volumétrica**

La carga hidráulica describe el volumen de agua residual aplicada diariamente por unidad de volumen del reactor o por área de filtro

El volumen o la relación de flujo de un agua residual en particular determina el tamaño requerido de las estructuras construidas, sobre el cual la factibilidad o conveniencia de la tecnología del tratamiento es decidido. Por lo tanto, esta es la primera información que el ingeniero sanitario necesita conocer.

#### **3.5.3 Carga orgánica aplicada**

Para aguas residuales muy fuertes, la relación de carga orgánica y no la relación de carga hidráulica se convierte en el parámetro determinante. El cálculo es elaborado en gr o kg de  $DBO_5$  o DQO por  $m^3$  de volumen digerido por día, en caso de tanques y lagunas anaeróbicas profundas. Para lagunas aeróbicas superficiales, la carga orgánica es relacionada a la superficie con las dimensiones  $g/m^2$  o  $kg/ha$  DBO (o DQO). La relación de carga orgánica permitida depende del tipo de reactor, la temperatura del reactor y el tipo de agua residual. La relación de carga orgánica depende del tiempo, el cual varios tipos de bacterias necesitan para su metabolismo específico (a veces expresado como relación constante K). la influencia de la carga orgánica influye en un seguimiento coordinado de diferentes pasos de tratamientos.

### **3.5.4 Volumen de lodos**

El volumen de lodos es un parámetro importante de diseño para tanques de sedimentación y digestores. Esto es porque, el lodo acumulado ocupa el volumen del tanque que debe ser agregado al volumen del reactor requerido. La producción de lodos biológicos está en directa relación a la cantidad de DBO removible, el cual, sin embargo, depende en el proceso de descomposición. La digestión aeróbica produce más lodos que la fermentación anaeróbica. Además de los lodos biológicos, los lodos primarios consisten parcialmente de lodos que ya están mineralizados.

### **3.6 Medición de consumo**

El consumo doméstico de agua por habitante es la cantidad de agua que dispone una persona para sus necesidades diarias de consumo, aseo, limpieza, riego, etc. y se mide en litros por habitantes por día (l/hab\*día).

En un sistema público de abastecimiento de agua, la cantidad de agua consumida varía continuamente en función del tiempo, de las condiciones climáticas, costumbres de la población, etc.

Hay meses en los que el consumo de agua es mayor en los países tropicales como el Brasil, sobre todo en los meses de verano. Por otro lado, dentro de un mismo mes, existen días en que la demanda de agua asume valores mayores sobre los demás.

Durante el día caudal dado por una red pública varía continuamente. En las horas diurnas el caudal supera el valor medio, durante el periodo nocturno el consumo decae, por debajo de la media, presentando valores mínimos en las primeras horas de la madrugada.

### **3.7 Disposición final del efluente**

El decreto 33-95 establece algunos conceptos relacionado a la disposición de aguas residuales las cuales son:

**Vertimiento Líquido:** Cualquier descarga de desechos líquidos vertidos a un cuerpo de agua o alcantarillado.

**Vertimiento No Puntual:** Es aquel en el cual no se puede precisar el punto exacto de descarga al recurso, tal es el caso de vertimientos provenientes de escorrentía, aplicación de agroquímicos u otros similares. Sólidos acumulados separados de las aguas residuales generados en los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

**Concentración de una Sustancia:** Es la relación existente entre su peso y el volumen del líquido que lo contiene.

**Carga:** Al producto de la concentración promedio por el caudal promedio determinados en el mismo sitio; se expresa en kilogramos por día (kg./día).

**Límite Máximo Permisible Promedio Diario:** Se entenderá por límite máximo permisible promedio diario, los valores, rangos y concentraciones de los parámetros que debe cumplir el responsable de la descarga, en función del análisis de muestras compuestas de las aguas residuales provenientes de las descargas domésticas e industriales.

**Toxicidad:** La propiedad que tiene una sustancia, elemento o compuesto, a una determinada dosis, de causar daños en la salud humana o modificación, alteración o muerte de cualquier organismo vivo.

**Toxicidad Aguda:** La propiedad de una sustancia, elemento, compuesto, desecho, o factor ambiental, de causar efecto letal u otro efecto nocivo en cuatro (4) días o menos a los organismos utilizados para el bioensayo acuático.

**Toxicidad Crónica:** La propiedad de una sustancia, elemento, compuesto, desecho o factor ambiental, de causar cambios en el apetito, crecimiento, metabolismo, reproducción, movilidad, o la muerte, o producir mutaciones después de cuatro (4) días a los organismos utilizados para el bioensayo acuático.

**Parámetro:** Es un valor cualquiera de una variable independiente que se refiere a un elemento o atributo que permite calificar o cuantificar una propiedad determinada del cuerpo físico en cuanto a ciertas propiedades.

**Muestras Simples o Instantáneas:** Son las muestras captadas en una unidad de tiempo y representan las características del agua residual en ese momento.

**Muestras Compuestas:** Las que se toman por intervalos predeterminados durante el período de muestreo para completar un volumen proporcional al caudal, de manera que este resulte representativo de la descarga de aguas residuales, medido en el sitio y en el período de muestreo.

**Cuerpo Receptor:** Es parte del medio ambiente en el cual pueden ser vertidos directa o indirectamente cualquier tipo de efluentes tratados o no tratados provenientes de actividades contaminantes o potencialmente contaminante, tales como: cursos de agua, drenajes naturales, lagos, lagunas, ríos, embalses y el océano.

## Disposiciones generales

En el Decreto 33-95 se establecen los rangos y límites máximos de los parámetros para la descarga de aguas residuales a cuerpos receptores proveniente de los sistemas de tratamiento como se indica en la Tabla 2.

**Tabla 2. Rangos y parámetros para descarga en cuerpos receptores.**

<b>PARAMETROS</b>	<b>RANGOS Y LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES. PROMEDIO DIARIO</b>
pH	6-9
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	100
Grasas y aceites (mg/l)	20
Sólidos sedimentos (m/l)	1.0
DBO(mg/l)	110
DQO(mg/l)	220
Sustancias activas al azul de metileno (mg/l)	3

**Fuente: Normas NTON 05 027-05**

Los rangos y límites máximos para la descarga de aguas residuales tratadas domesticas e industriales para su disposición mediante riego agrícola se puede apreciar en la Tabla 3.

**Tabla 3. Rangos y límites de descarga para uso agrícola**

<b>PARAMETROS</b>	<b>RANGOS Y LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES. PROMEDIO DIARIO</b>
Ph	6.5-8.5
Conductividad eléctrica (microohms/cm)	200
DBO(mg/l)	120
DQO(mg/l)	200
Sólidos suspendidos totales (mg/l)	120
Aluminio (mg/l)	5.0
Arsénico (mg/l)	0.1
Boro (mg/l)	1.0
Cadmio (mg/l)	0.01
Cianuros (mg/l)	0.02
Cobre (mg/l)	0.2
Cromo total (mg/l)	0.1
Hierro (mg/l)	5.0
Fluoruros (mg/l)	3.0
Manganeso (mg/l)	0.2
Níquel (mg/l)	0.2
Plomo total (mg/l)	5
Selenio (mg/l)	0.02
Zinc (mg/l)	2.0
Coliformes fecales (cada 100 ml)	1000
Huevos de Helminfos (cada 100ml)	1
Tasa de absorción de sodio (mg/l)	6

**Fuente: Normas NTON 05 027-05**

La disposición del efluente será en un cauce natural cerca de la planta de tratamiento, cumpliendo con lo establecido en el decreto 33-95 para el vertimiento de aguas residuales en cuerpos receptores.

#### **IV. DISEÑO METODOLÓGICO**

El enfoque del presente estudio es de tipo cuantitativo ya que se determinaron las dimensiones del diseño de cada una de las cámaras de tratamiento del sistema descentralizado usando el manual de diseño DEWATS.

Según el tiempo de ocurrencia es de tipo prospectiva, puesto que los resultados obtenidos del diseño serán utilizados para la construcción del módulo de varones de la organización Nuestros Pequeños Hermanos (NPH) en el municipio de Jinotepe, Carazo.

El estudio según el alcance de los resultados es de tipo descriptiva, ya que se detalla el diseño de cada uno de los componentes del sistema DEWAST.

Las actividades que deben llevarse a cabo para la elaboración del diseño son:

##### **Fase 1: Información y Estudio de Campo**

En esta fase se reunió toda la información pertinente al sistema DEWATS, también se recopiló la información referente al sitio como la topografía del terreno, gasto de agua y número de habitantes.

##### **Fase 2: Estudio de Gabinete**

Se hizo uso del programa Civil 3D para el modelamiento digital del terreno.

Se usó el Manual de diseño INAA, CEPIS y el software Microsoft Excel para dimensionar los módulos a usarse en la planta de tratamiento descentralizada.

Se elaboraron los planos finales del diseño previamente realizado y se especificaron los materiales y la calidad de estos.

Se realizaron los cálculos de los materiales y mano de obra para la obtención de un aproximado del costo total de la planta diseñada.

#### **4.1 Proyección de la población**

La planta de tratamiento a diseñada está destinada únicamente para las casas de los varones que actualmente son 5 (Ver Figura 1 Distribución de edificios en “Casa padre Wasson” en anexo A), cada casa puede albergar como máximo 18 niños y un tutor. Para calcular la población futura para el diseño de los módulos de la planta de tratamiento, debido a las condiciones topográficas del terreno se asumió la construcción de una futura casa de varones, por lo que la población a proyectar en este trabajo es de  $6 \times 19 = 114$  personas más el personal de oficina y tienda, que a lo sumo podrían ser 8.

#### **4.2 Consumo de agua**

En el presente trabajo se asumió el consumo diario como consumo destinado al alumnado interno o personal residente de una escuela, debido a la similitud de la estadía de los jóvenes en el albergue con una escuela con internado, según SIAPA, Criterios Básicos de Diseño, este consumo es de 115 l/hab\*día, y la dotación de agua para oficinas es de 40 a 50 l/hab\*día.

#### **4.3 Alternativas de tratamiento propuestas**

Para proponer las alternativas de tratamiento, se tomaron en cuenta algunos factores que influyen en la implementación de estas, tales como:

- Bajo costo en operación y mantenimiento
- Topografía del terreno
- Cantidad de usuarios beneficiados por el sistema
- Área de construcción.
- Destino del efluente.

### **Alternativas propuestas**

- **Alternativa 1:** Tanque séptico + Humedal de flujo horizontal
- **Alternativa 2:** Tanque séptico + Filtro anaerobio de flujo ascendente + Humedal de flujo horizontal
- **Alternativa 3:** Biodigestor + Humedal de flujo horizontal

#### **4.4 Matriz de evaluación de cada alternativa**

Para la evaluación de cada alternativa se tomaron en cuenta factores tales como eficiencia, costo de la obra, costo de operación y mantenimiento, área de construcción.

Una vez concluido el dimensionamiento de los mecanismos para tratar las aguas residuales, se analizaron los resultados a través de una matriz de evaluación dando un puntaje del **1 al 5** a cada factor, según la afectación, considerando de mayor afectación el de mayor puntaje, al final se obtienen los totales de cada uno y la de mayor puntaje es la de mayor aceptación.

#### **4.5 Criterios de diseños para tanque séptico**

Los tanques sépticos se consideran para su diseño como tanques de gran tamaño. Cuando se emplee tanque séptico, éste deberá ubicarse en un sitio donde: no ofrezca riesgo de contaminar las fuentes de abastecimiento de agua para

consumo humano; permita una pendiente aceptable para la instalación de las cloacas de la edificación y demás elementos del sistema de disposición propuesto; sea fácil su inspección, operación y mantenimiento; y resulte factible la disposición final de las aguas tratadas, estipulándose como mínimo las siguientes distancias:

- De las fuentes de abastecimiento de agua: 20.00 m;
- De los linderos de la parcela: 2.00 m;
- Del sistema de disposición final: 2.00 m;
- De las construcciones existentes o futuras dentro de la parcela: 2.00 m;
- De las construcciones de terrenos contiguos: 5.00 m.
- De los estanques subterráneos de almacenamiento de agua potable: 10.00 m.

Cuando el terreno donde se proyecte ubicar el tanque séptico tenga un pronunciado desnivel o pendiente hacia un predio inferior, se aumentará la distancia entre el séptico y ese lindero, a juicio del INAA.

#### **Recomendaciones para el diseño:**

- Número de cámaras: dos
- Relación entre la longitud total (L) y ancho (A):  $2 < L/B < 4$
- Profundidad útil (h) mínima = 1.20 m.
- El ancho máximo del tanque no deberá ser mayor que 2 h.
- La primera y segunda cámara deberán tener un volumen igual a  $2/3$  y  $1/3$  respectivamente del volumen útil total calculado.
- La primera y segunda cámara deberán tener una longitud igual a  $2/3$  y  $1/3$  L respectivamente.
- El borde inferior de la abertura de pase entre las cámaras deberá estar a  $2/3$  de la profundidad útil (h) y el superior a una distancia mínima de 0.30 m bajo el nivel del líquido. El área total de la abertura deberá estar entre el 5 y 10% del área de la sección transversal del volumen útil.

- La rasante del tubo de entrada deberá estar a 0.075 m por encima de la superficie libre del líquido.
- Solo deberán proveer los correspondientes dispositivos de entrada y salida en los cuales la parte sumergida será no menor de 0.30 m y la parte fuera de la superficie del agua no menor de 0.20 m.
- Se deberá proveer en cada cámara una boca de inspección de forma circular con un diámetro no menor de 0.60 m y la tapa deberá estar colocada sobre un bordillo de 0.15 m de alto con respecto al nivel superior del tanque.
- El período de retención deberá ser de 0.5 días mínimo.
- La contribución de lodo fresco deberá ser de un litro/persona día.
- Los coeficientes de reducción de lodos serán iguales a 0.25 y 0.50 para lodo digerido y lodo en digestión respectivamente.
- La capacidad para almacenamiento de lodo digerido deberá ser para un período mínimo de un año.

### **Ecuaciones para el diseño de un tanque séptico según CEPIS/OMS.**

#### **Periodo de retención hidráulica (PR, en días)**

$$PR = 1.5 - 0.3 \log(P * Q) \quad (1)$$

Donde:

P: Población servida.

Q: Caudal de aporte unitario de aguas residuales, litros/(habitante \* día).

El periodo de retención mínimo es de 6 horas.

#### **Volumen requerido para la sedimentación (Vs, en m<sup>3</sup>)**

$$VS = 10^{-3} * (P * Q) * PR \quad (2)$$

#### **Volumen de digestión y almacenamiento de lodos (Vd, en m<sup>3</sup>)**

$$Vd = G * 10^{-3} * P * N \quad (3)$$

Donde:

N: Intervalo deseado en años, entre operaciones sucesivas de remoción de lodos.

G: Volumen de lodos producidos en litros por persona por año.

### **Volumen de lodos producidos**

La cantidad de lodos producidos por habitante y por año, depende de la temperatura ambiental y de la descarga de residuos de la cocina. Los valores para considerar son:

- Clima cálido 40 litros/hab \*año
- Clima frío 50 litros/hab\*año

En caso de descargas de lavaderos u otros aparatos sanitarios instalados en restaurantes y similares, donde exista el peligro de introducir cantidad suficiente de grasa que afecte el buen funcionamiento del sistema de evacuación de las aguas residuales, a los valores anteriores se le adicionara el valor de 20 litros/hab\*año.

### **Volumen de natas (Vn)**

Como valor se considera un volumen mínimo de  $0,7 m^3$

### **Profundidad máxima de espuma sumergida (He, en m)**

$$He = \frac{Vn}{A} \quad (4)$$

Donde:

A: Área superficial del tanque séptico en  $m^2$ .

### **Profundidad libre de espuma sumergida (Espacio de seguridad)**

Distancia entre la superficie inferior de la capa de espuma y el nivel inferior de la Tee de salida o cortina deflectora del dispositivo de salida del tanque séptico, debe tener un valor mínimo de 0,10 m.

### **Profundidad mínima requerida para la sedimentación (Hs, en m)**

$$H_s = \frac{V_s}{A} \quad (5)$$

En ningún caso será menor que 0.30 m.

### **Profundidad de nata y de almacenamiento de lodos**

La determinación de las profundidades de natas y almacenamiento de lodos se efectuará dividiendo el volumen de natas y el volumen de lodos entre el área superficial del tanque séptico.

### **Profundidad neta del tanque séptico.**

La suma de las profundidades de natas, sedimentación, almacenamiento de lodos y la profundidad libre de espuma sumergida.

## **4.6 Criterios de diseño para Filtro Anaerobio**

- El filtro deberá estar contiguo al tanque séptico, el tipo deberá ser de sección cuadrada, con un fondo falso perforado.
- El lecho filtrante deberá tener 1.20 m de altura. El material filtrante deberá tener una granulometría lo más uniforme posible pudiendo variar entre 4 y 7 cm colocándose la más gruesa en la parte inferior del lecho.
- La profundidad útil del filtro deberá ser de 1.80 m para cualquier volumen dimensionado.
- La pérdida de carga en el filtro deberá ser de 0.10 m; por lo tanto, el nivel de salida del efluente del filtro estará a 0.10 m abajo del nivel de la superficie del agua en el tanque séptico.
- El fondo falso deberá tener aberturas con diámetro de 0.03 m espaciados entre sí, 0.15 m de centro a centro.

- El paso del tanque séptico hacia el filtro podrá ser de un tubo con una Tee en la salida del tanque y su rama vertical deberá estar curvada próximamente al fondo del filtro. El tubo deberá ser de PVC o Polietileno, con un diámetro no menor de 0.10 m.
- El filtro deberá proveerse de su boca de inspección similar a la indicada para el tanque séptico. También se le proveerá de un sistema adecuado para aplicarle agua a presión en la parte superior del lecho filtrante, cuando sea necesario su limpieza.

**Para el cálculo de dimensiones del filtro se deberán utilizar las fórmulas siguientes:**

$$V = 1.60 NCT \quad (6)$$

$$A = \frac{V}{1.8} \quad (7)$$

Donde:

V = volumen útil en litros

N = Número de contribuyentes

C = Contribución en L/p.p.d

A = Área de la planta del filtro (m<sup>2</sup>)

#### **4.7 Humedal horizontal**

En la tabla 4 se incluyen características típicas del medio usado en un humedal artificial de flujo subsuperficial.

**Tabla 4. Características típicas del medio usado en un humedal artificial**

Medio	Tamaño efectivo (TE) (mm)	Porosidad (p)	Conductividad hidráulica m/d
Arena media	1	0.30	500
Arena gruesa	2	0.32	1000
Arena y grava	8	0.35	5000
Grava media	32	0.40	10000
Grava gruesa	128	0.45	100000

**Fuente: Guía técnica INAA**

Con el propósito de cuantificar el rendimiento de un humedal de flujo subsuperficial, para remoción de contaminantes, se ha propuesto el modelo básico de flujo en pistón con incorporación de diferentes coeficientes empíricos. Para lo cual se puede aplicar la ecuación siguiente:

$$C_e = C_o e^{-Kt} \quad (8)$$

Donde:

C<sub>e</sub> = concentración del efluente, mg/L

C<sub>o</sub> = concentración del afluente, mg/L

K = constante de remoción, d<sup>-1</sup>

t = período de retención, d; calculado con base en la profundidad del agua, el área superficial del lecho y el caudal afluente.

Para cuantificar la remoción de DBO en humedales subsuperficiales se ha propuesto, para el cálculo de K, la siguiente ecuación:

$$K_{20} = K_o \left( 37.31 p^{4.172} \right) \quad (9)$$

Donde:

$K_o$  = constante óptima de remoción, para medio con zona de raíces completamente desarrollada.

$K_o = 1.839 \text{ d}^{-1}$  para aguas residuales municipales.

$K_o = 0.198 \text{ d}^{-1}$  para aguas residuales industriales con DQO alta.

$K_{20}$  = constante a 20 °C,  $\text{d}^{-1}$

$p$  = porosidad total del medio, fracción decimal.

El área de la sección transversal del lecho de un humedal de flujo subsuperficial se determina por la ley de Darcy.

$$Q = K A_t \frac{\Delta h}{\Delta L} \quad (10)$$

Donde:

$Q$  = caudal,  $\text{m}^3/\text{s}$

$K$  = conductividad eléctrica del lecho completamente desarrollado,  $\text{m}/\text{s}$ . Para diseño, se toma un 10% del valor de la tabla 11.5

$A_t$  = área de la sección transversal del lecho,  $\text{m}^2$

Si el lecho es plano, la gradiente hidráulica y la pendiente son prácticamente iguales y se puede usar como valor mínimo de  $\Delta h/\Delta L = 0.001$ . Como la pendiente depende de la conductividad hidráulica, se pueden usar valores de 4 a 5% o mayores.

En la tabla 5 siguiente se muestran valores guías para el diseño de humedales de flujo subsuperficial.

**Tabla 5. Información típica para el diseño de humedales artificiales**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Período de retención, d	
Remoción de DBO	3 – 4
Remoción de N	4 – 15
Carga hidráulica, m <sup>3</sup> /ha.d	470 – 1870
Carga orgánica, kg DBO/ha.d	< 112
Carga SST, kg/ha.d	390
Profundidad del agua, m	0.30 – 0.60
Profundidad del medio, m	0.45 – 0.75
Control de mosquitos	No requiere

**Fuente: Guías técnicas INAA**

**Tabla 5. Información típica para el diseño de humedales artificiales**

<b>Parámetros</b>	<b>Valor</b>
Programa de cosecha	No requiere
Calidad esperada del efluente, mg/L	
DBO	< 20
SST	< 20
Nt	< 10
Pt	< 5

**Fuente: Guías técnicas INAA**

Los humedales artificiales deberán cumplir con las siguientes condiciones:

- Es recomendable no usar la pendiente del fondo para ganar carga, pues se corre el riesgo de dejar la entrada seca cuando haya condiciones de bajo caudal.
- Usar piedras entre 50 y 100 mm para longitud de 0.60 m alrededor del influente distribuidor y las tuberías colectoras del efluente para reducir el taponamiento.
- Usar solo material lavado para el medio, eliminando así los granos finos que puedan taponar los poros del medio, y que posiblemente causen flujo superficial.
- Construir berma con un ancho mínimo de 0.60 m con alturas mínimas de 0.15 m sobre el medio y sobre la superficie de la tierra.
- Pendientes: exterior: 3H: 1V, interior: 2H: 1V

## V. CÁLCULOS Y RESULTADOS

### 5.1 Análisis de las alternativas

Para la selección de la alternativa a implementar se han tomado en cuenta la calidad del efluente, el área superficial requerida, los costos de construcción y mantenimiento, y la que produzca el menor impacto ambiental negativo. Revisar anexo B para ver los planos.

#### Alternativa 1: Tanque séptico + Humedal de flujo horizontal

ALTERNATIVA 1. TANQUE SEPTICO + HUMEDAL			
	Calculo	Unidad	Valor
Tanque septico	Ancho	m	2.50
	Largo	m	5.10
	Profundidad media	m	2.20
	Volumen	m3	28.05
	Periodo de retencion	horas	7
	No de unidades	u	1
	Area superficial	m2	13
Humedal de flujo subsuperficial	Ancho	m	9
	Largo	m	13.5
	Profundidad media	m	1
	Volumen	m3	121.5
	Periodo de retencion	dias	1.5
	No de unidades	u	1
	Area superficial	m2	122
	Area total	m2	136

### Porcentaje de remoción de los parámetros característicos

Tratamiento	DBO5		DQO		SS		Coliformes	
	Rango	Reduccion	Rango	Reduccion	Rango	Reduccion	Rango	Reduccion
Tanque Septico	75%-95%	85%	70%-92%	81%	83%-99%	91%	10%-90%	50%
Humedal de flujo sub-superficial	72%-96%	12.6%			95%	8.6%	95%-100%	48.5%
<b>Alternativa 1</b>		<b>97.6%</b>		<b>81%</b>		<b>99.6%</b>		<b>98.5%</b>

### Alternativa 2: Tanque séptico + FAFA + Humedal de flujo horizontal

<b>ALTERNATIVA 2. TANQUE SEPTICO + FAFA+HUMEDAL</b>			
	<b>Calculo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
<b>Tanque septico</b>	Ancho	m	2.50
	Largo	m	5.1
	Profundidad media	m	2.20
	Volumen	m3	28.05
	Periodo de retencion	horas	7
	No de unidades	u	1
	Area superficial	m2	13
<b>Fafa</b>	Ancho	m	1.67
	Largo	m	1.67
	Profundidad media	m	2.1
	Volumen	m3	5.84
	Periodo de retencion	horas	7
	No de unidades	u	1
	Area superficial	m2	3
<b>Humedal de flujo subsuperficial</b>	Ancho	m	9
	Largo	m	13.5
	Profundidad media	m	1
	Volumen	m3	121.5
	Periodo de retencion	dias	1.5
	No de unidades	u	1
	Area superficial	m2	122
	<b>Area Total</b>	<b>m2</b>	<b>138</b>

### Porcentaje de remoción de los parámetros característicos

Tratamiento	DBO5		DQO		SS		Coliformes	
	Rango	Reduccion	Rango	Reduccion	Rango	Reduccion	Rango	Reduccion
Tanque Septico	75%-95%	85%	70%-92%	81%	83%-99%	91%	10%-90%	50%
FAFA	80%	12%	80%-100%	90%	80%-100%	8.10%	30%-40%	18%
Humedal de flujo sub-superficial	72%-96%	2.5%			95%	0.85%	95%-100%	31.5%
<b>Alternativa 2</b>		<b>99.52%</b>		<b>98.10%</b>		<b>99.96%</b>		<b>99.03%</b>

### Alternativa 3: Biodigestor + Humedal de flujo horizontal

<b>ALTERNATIVA 3. Biodigestor Rotoplas + HUMEDAL</b>			
	Calculo	Unidad	Valor
<b>Biodigestor Rotoplas</b>	Ancho mayor	m	2.4
	Diametro superior	m	0.46
	Profundidad media	m	2.6
	Volumen	m3	7.00
	Periodo de retencion	dias	1.30
	No de unidades	u	2
	Area superficial	m2	6
<b>Humedal de flujo subsuperficial</b>	Ancho	m	9.00
	Largo	m	13.5
	Profundidad media	m	1
	Volumen	m3	121.5
	Periodo de retencion	dias	1.5
	No de unidades	u	1
	Area superficial	m2	122
	Area Total	m2	128

### Porcentaje de remoción de los parámetros característicos

Tratamiento	DBO5		DQO		SS		Coliformes	
	Rango	Reduccion	Rango	Reduccion	Rango	Reduccion	Rango	Reduccion
Biodigestor		94%	88%	88%		98%		
Humedal de flujo sub-superficial	72%-96%	5.0%			95%	1.9%	95%-100%	97.0%
<b>Alternativa 1</b>		<b>99.0%</b>		<b>88.0%</b>		<b>99.9%</b>		<b>97.0%</b>

## 5.2 Costo de cada alternativa

Se estimaron los costos de los sistemas para cada alternativa propuesta utilizando los precios establecidos en la Guía de costos No. 12 del Nuevo FISE (Fondo de inversión social de emergencia) con el fin de utilizar como parámetro de selección en la matriz de evaluación. En Apéndice C puede encontrar más detalles del presupuesto.

Alternativas	Costo de construcción
<b>ALTERNATIVA 1. TANQUE SEPTICO + HUMEDAL</b>	C\$ 287,086.59
<b>ALTERNATIVA 2. TANQUE SEPTICO + FAFA+HUMEDAL</b>	C\$ 360,049.93
<b>ALTERNATIVA 3. 2 Biodigestores Rotoplas + HUMEDAL</b>	C\$ 414,002.22

## Matriz de evaluación de cada alternativa

Se compararon las alternativas propuestas en Tabla 6.

**Tabla 6. Matriz de evaluación de los sistemas de tratamiento.**

No.	Criterios Evaluados	ALTERNATIVA 1 Tanque septico + humedal	ALTERNATIVA 2 Tanque septico + FAFA + Humedal	ALTERNATIVA 3 Biodigestor Rotoplas + Humedal	Peso
1	Costo de la Obra	4	3	5	4.00
2	Costo de Operacion y mantenimiento	3	3	4	3.33
3	Uso de equipo y materiales locales	5	5	4	4.67
4	Requerimiento de personal calificado	3	3	4	3.33
5	Requerimiento de energia electrica	5	5	5	5.00
6	Calidad del efluente	3	5	4	4.00
7	Complejidad de Operacion y control	3	3	3	3.00
	Puntuacion Final	26	27	29	27.33

### **5.3 Selección de la alternativa**

Basándose en los criterios de la matriz de evaluación anteriormente descrita, el sistema con mayor ventaja y que desempeñaría una mejor función, es la **Alternativa 3**. conformada por 2 biodigestores Rotoplas y 1 humedal horizontal de flujo subsuperficial. Esta alternativa es la que mejor cumple con los criterios evaluados ya que no incurre en gastos de energía, ni en aditivos químicos, es un sistema seguro para los usuarios y medio ambiente, ya que las aguas contaminadas no están en contacto con el aire y no son propicios a la reproducción de mosquitos, libre de algas en el efluente lo que permite que las aguas tratadas, se utilicen para riego agrícola y áreas verdes.

Además, la producción de lodos estabilizados puede utilizarse para abono del suelo, este sistema no genera malos olores, no requiere de energía, ni personal calificado, la vegetación del humedal proporciona un hábitat para diferentes animales.

### **5.4 Operación y Mantenimiento del Sistema de Tratamiento**

El tratamiento de aguas residuales constituye una medida de mitigación que ayuda a disminuir y controlar la contaminación de los cuerpos de agua, pero para que esta medida tenga éxito se debe contar con obras de infraestructura adecuada a la naturaleza de las aguas a tratar y con el personal capacitado para llevar a cabo las labores de operación y mantenimiento.

Los dueños de cada sistema deberán designar a una persona para ejecutar el mantenimiento para asegurar el exitoso desempeño del tratamiento y la adecuada presentación estética de las instalaciones. Al mismo tiempo deberá lograr una comprensión del sistema que le permita detectar cualquier anomalía que pudiera presentarse.

Cada unidad y componente del sistema de tratamiento requiere un enfoque de mantenimiento específico, se adjuntan en Apéndice D.

### **5.5 Diagnóstico de impacto ambiental**

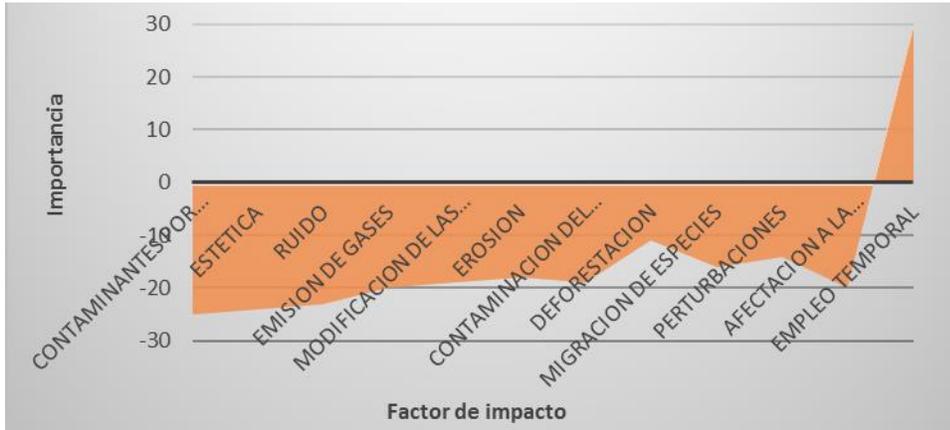
Las plantas de tratamiento de aguas residuales se construyen con el propósito de proteger el ambiente y la salud, por consiguiente, su impacto ambiental debería ser positivo. Sin embargo, al hacer el análisis de este impacto, debe considerarse la posibilidad de que se presenten aspectos negativos. Revisar tabla E.1 en Apéndice E.

Por otro lado, es importante señalar que aun cuando se haya realizado un análisis exhaustivo de los impactos relacionados con la construcción de un sistema de tratamiento de aguas residuales, pueden ocurrir situaciones desfavorables en el funcionamiento. Los impactos negativos más importantes de una planta de tratamiento son la presencia de malos olores y de mosquitos. Con frecuencia están ligados a problemas de operación o falta de mantenimiento de las instalaciones de tratamiento y de la infraestructura de riego. Por lo tanto, se requiere un programa regular de control e inspección y de medidas para mitigar estos impactos negativos.

### **Interpretación de los resultados**

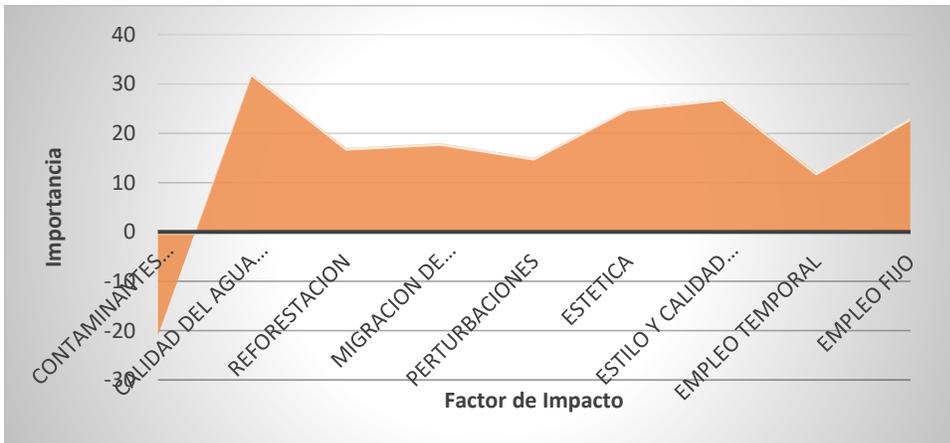
En la parte final del estudio se elaboró un análisis en la fase de construcción, como la fase de operación, ver tabla D-2, apéndice C, los resultados se representaron con gráficos de áreas negativas y áreas positivas, como se muestran en las Figura N°4 y N°5. El criterio para la valoración es que el área mayor es la que determina hacia donde se inclina el balance, sí hacia los impactos positivos o hacia los impactos negativos.

**Figura 4. Orden de Impactos en la etapa de Construcción**



**Fuente: Elaboración propia**

**Figura 5. Orden de impactos en la etapa de Operación**



**Fuente: Elaboración propia**

Una vez que se cuantifican estas dos áreas en un balance, se puede observar que el área positiva en la etapa de operación es mayor de lo que el área negativa en la etapa de construcción. (Ver tabla D-5, Apéndice D), lo que indica que la obra es de carácter positivo a favor del medio ambiente.

## IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

1. Se determinó la cantidad de población que se beneficiará del proyecto generando un caudal de diseño de 11.23 m<sup>3</sup>/día.
2. El levantamiento topográfico utilizó para ubicar las estructuras existentes y seleccionar la mejor ubicación de la planta de tratamiento según las pendientes obtenidas.
3. Se diseñaron y evaluaron tres alternativas de tratamiento, seleccionando como mejor la alternativa 3, compuesta por dos biodigestores más un humedal horizontal de flujo subsuperficial, ya que cumple con Normas del MARENA, las normas técnicas establecidas por INAA y CEPIS, por ser la más económica, fácil de operar y mantener.
4. Se elaboraron los planos constructivos de la alternativa de tratamiento seleccionada para su correcta construcción.
5. Se calcularon los costos unitarios, la cantidad de materiales a usar en la construcción y costos totales, de acuerdo a los planos dando un aproximado de C\$ 414,002.22. (cuatrocientos catorce mil, dos con 22/100 de córdobas) equivalentes a U\$ 12,622.02 (Doce mil seiscientos veinte y dos con 02/100 dólares)
6. Se especificaron las actividades de operación y mantenimiento para el buen funcionamiento del sistema de tratamiento, el cual beneficiará a la población del NPH y al medio ambiente.
7. Los impactos ambientales en su mayoría son positivos en su operación y se dan más negativos en la etapa de la construcción, debido al movimiento de

tierra, el ruido de las herramientas a usar, el derrame de aceites, gasolina, gas, etc que contaminan el suelo y afectan a los mismos trabajadores y a la población residente.

## **6.2 Recomendaciones**

1. A la aldea NPH en Carazo, la pronta construcción del sistema de tratamiento siguiendo lo especificado en los planos constructivos y utilizando materiales de calidad, para evitar enfermedades, malos olores y así mejorar la calidad de vida de los usuarios.
2. Se recomienda organizar capacitaciones a los usuarios, para el buen funcionamiento del uso del sistema.
3. Construir una barrera de protección como muro o colocación de malla ciclón en el perímetro de la planta de tratamiento para evitar que niños o animales dañen el sistema.
4. Realizar una evaluación del sistema en caso de que se llegue a tener una población mayor a la proyectada en este estudio, para asegurar la capacidad del sistema propuesto.
5. Verificar los niveles Topográficos en el momento de la construcción para evitar posibles errores en esta etapa.
6. Cumplir con lo que dice el Manual de Operación y Mantenimiento para un buen funcionamiento y larga vida útil del sistema de tratamiento y además efectuar el Plan de Monitoreo para controlar la calidad del afluente y efluente, como la eficiencia del sistema.
7. Los lodos producto del tratamiento nunca deben ser enviados al drenaje, barrancas, selvas o cuerpos de agua como ríos, lagos, mares. Es

recomendable rellenar con agua después de extraer los lodos. Lavarse las manos perfectamente después de cada mantenimiento.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. BORDA. (1998). *Decentralised wastewater treatment in developing countries*.
2. BORDA. (2017). Obtenido de BORDA: <http://www.borda-sea.org/basic-needs-services/dewats-decentralized-wastewater-treatment.html#c2155>
3. CONAGUA. (s.f.). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: Filtros anaerobios de flujo ascendente*. Mexico D.F.
4. FAO. (1996). *Nociones ambientales basicas para profesores rurales y extensionistas*.
5. G. K. (2015). *Propuesta de proyecto para las aguas residuales NPH*. Managua.
6. Gordon, M. (1987). *Ingeniería sanitaria y aguas residuales: purificación de aguas y tratamiento de aguas residuales*. Mexico: Limusa.
7. López, A. E. (2013). *Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la cabecera parroquial de San Luis - Provincia de chimborazo*. Riobamba, Ecuador.
8. OPS. (2005). *Guía de diseño para tanques septicos, tanques imhoff y lagunas de estabilización*. Lima: OPS.
9. Rodríguez, J. S., Bocardo, J. P., & Fahd, K. (2007). *Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales*. Sevilla, España.

10. Sánchez, A. C. (2012). *Evaluación del desempeño de humedales construidos con plantas nativas tropicales para el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios*. Sevilla.

# ANEXOS

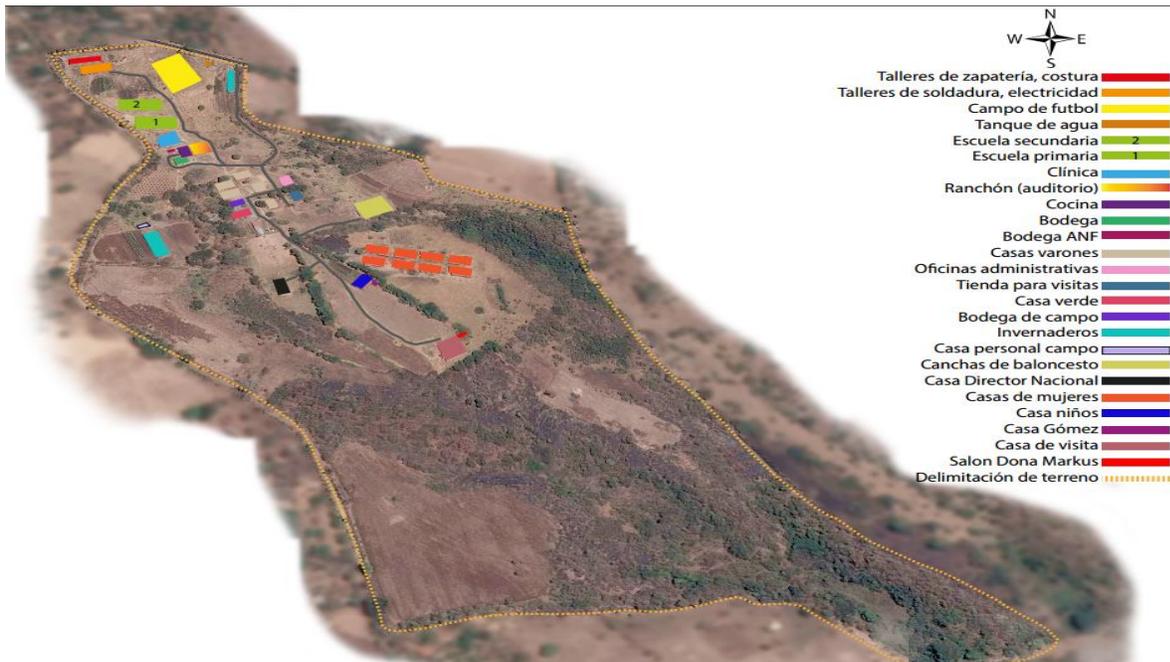
## ANEXO A. MACRO Y MICRO LOCALIZACION

Figura A-2 Macro localización del proyecto



Fuente: Google maps

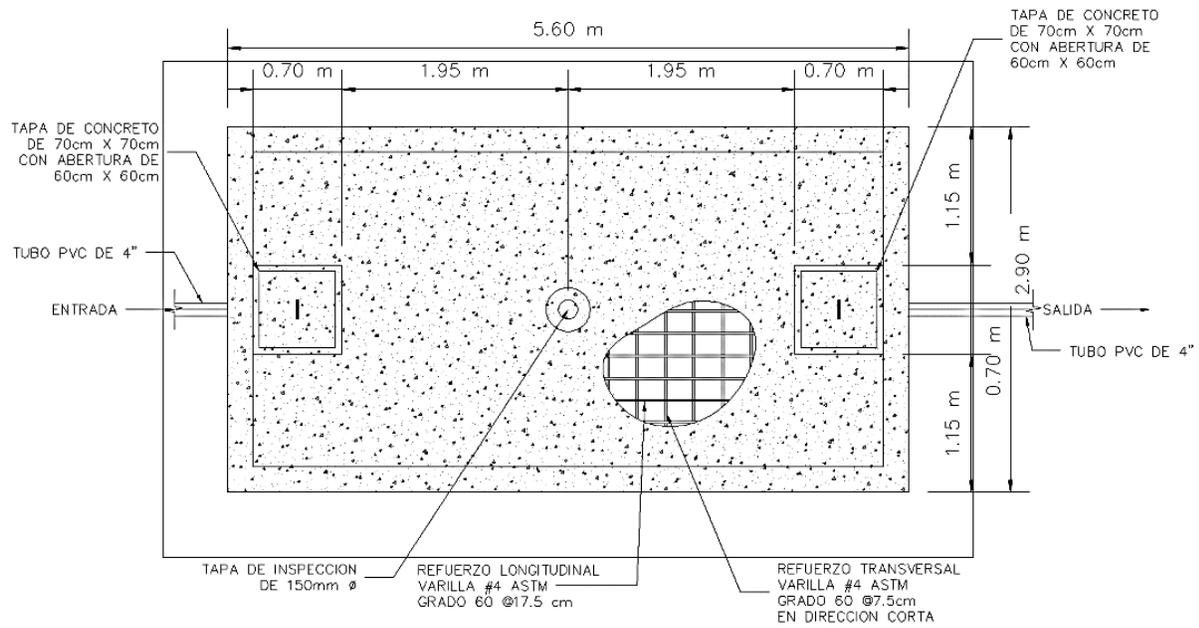
Figura A-2 Distribución de edificios en “Casa padre Wasson”



Fuente: Bremen Overseas Research Development Association (BORDA)

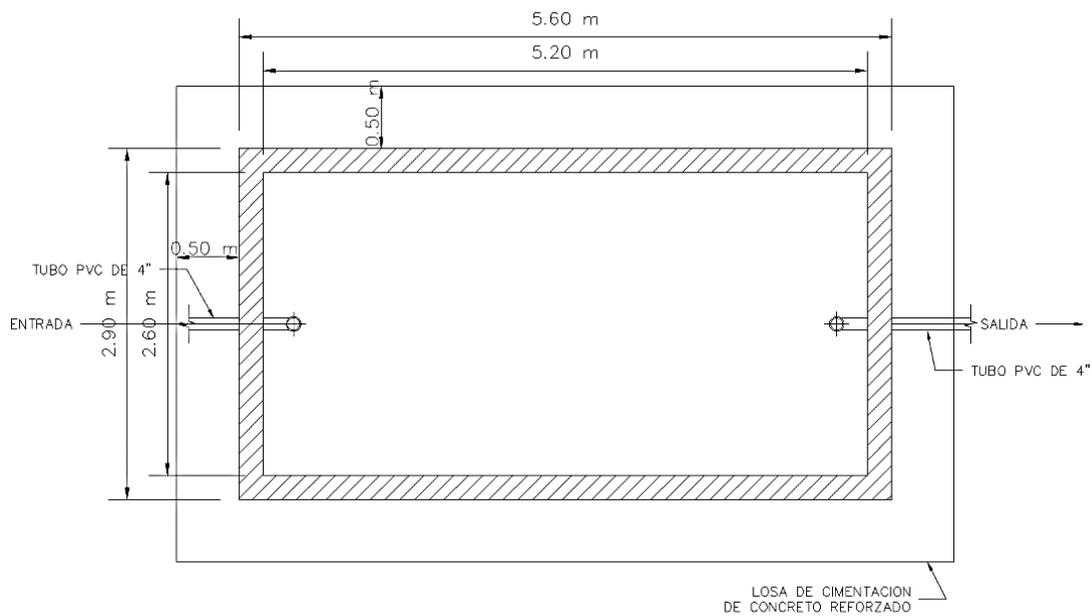
## ANEXO B. ESPECIFICACIONES TECNICAS DE CADA SISTEMA

### Figura B-1. Tanque séptico



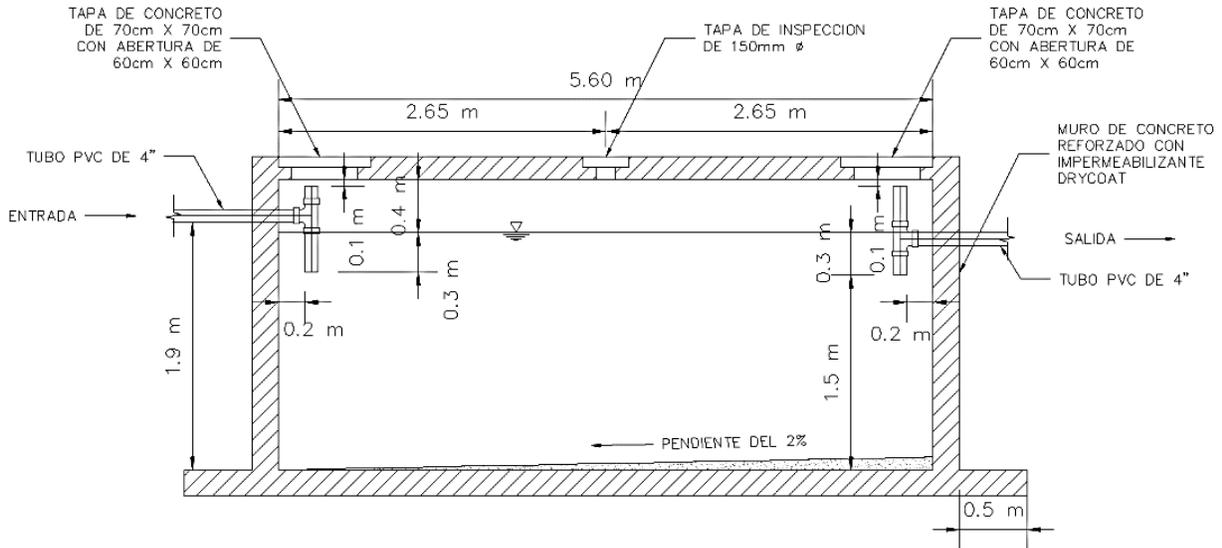
Fuente: Elaboración propia

### Figura B-2. Tanque séptico



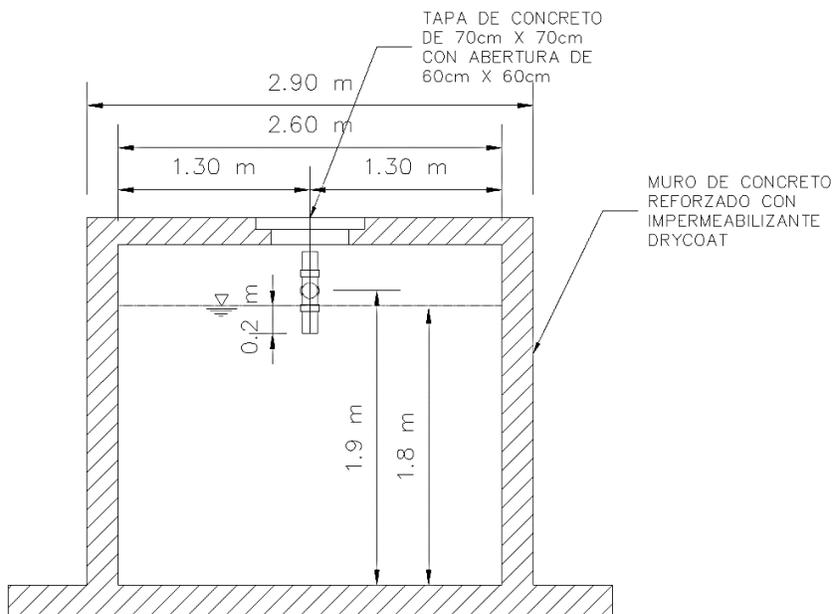
Fuente: Elaboración propia

**Figura B-3. Elevación de Tanque séptico**



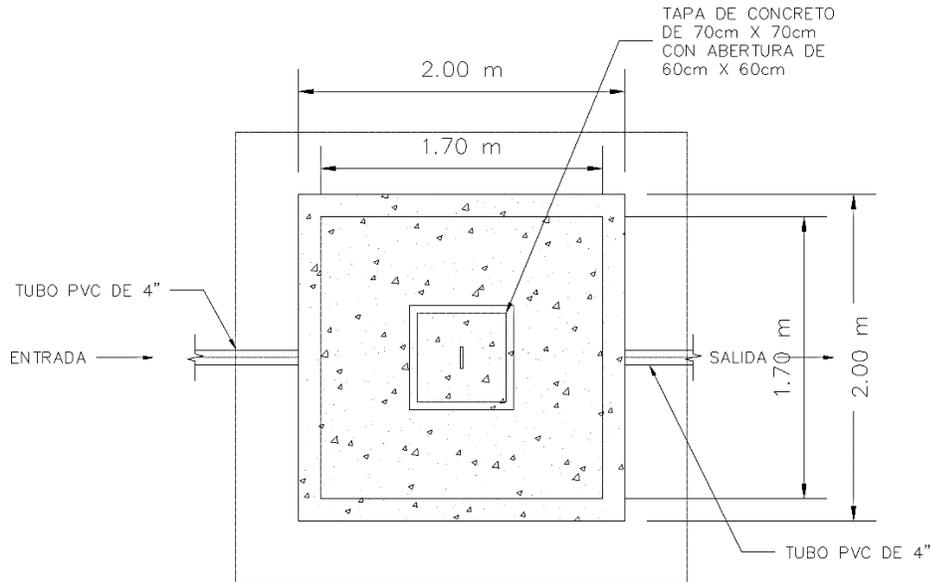
**Fuente: Elaboración propia**

**Figura B-4. Elevación de Tanque séptico**



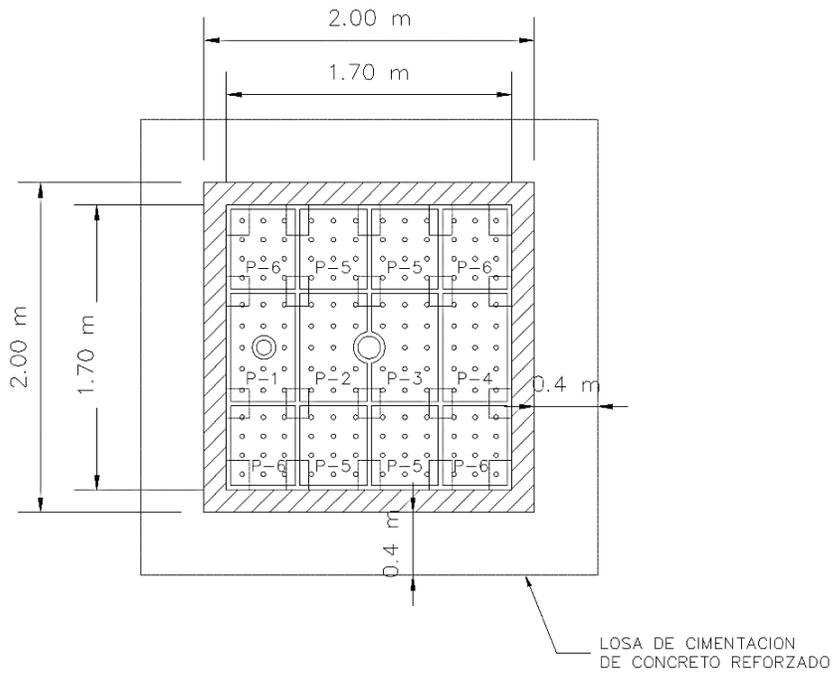
**Fuente: Elaboración propia**

**Figura B-5. FAFA**



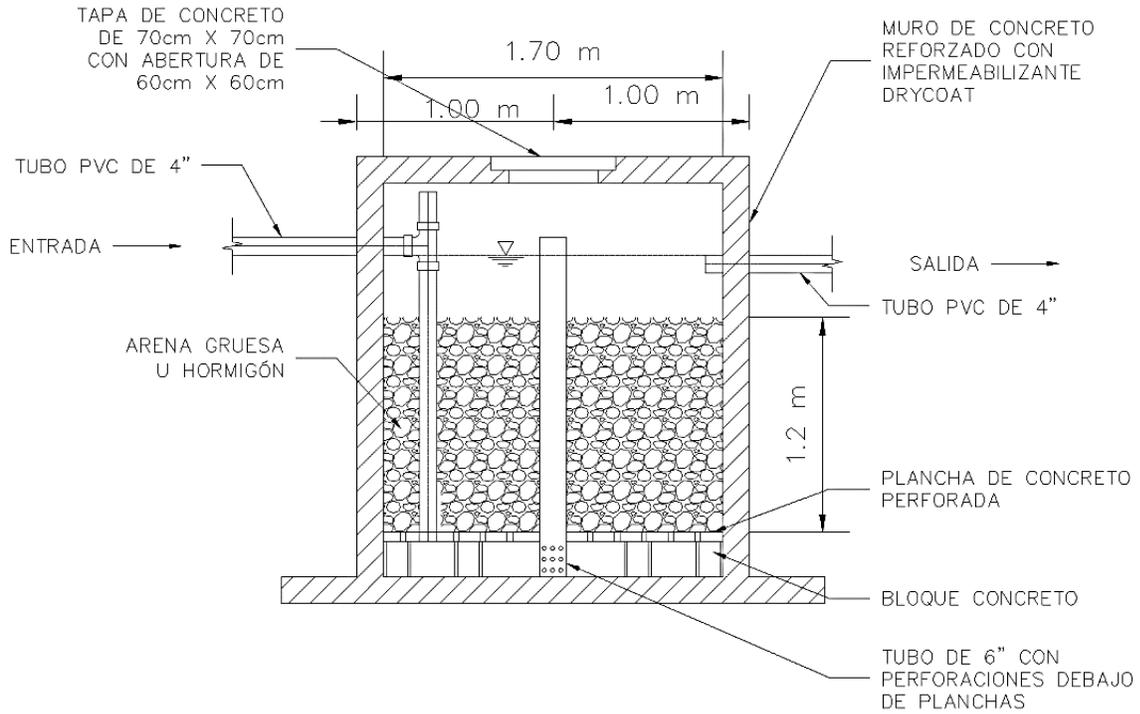
**Fuente: Elaboración propia**

**Figura B-6. FAFA**



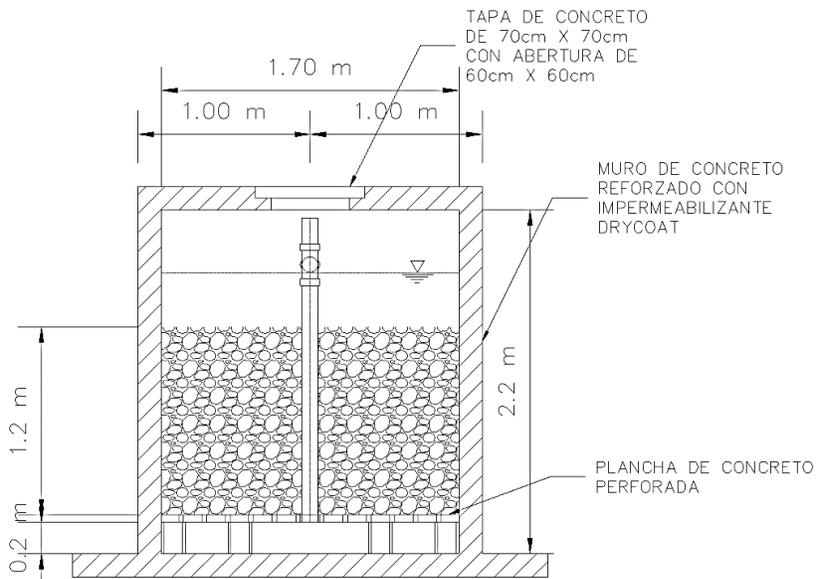
**Fuente: Elaboración propia**

**Figura B-7. Elevación FAFA**



**Fuente: Elaboración propia**

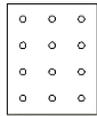
**Figura B-8. Elevación FAFA**



**Fuente: Elaboración propia**

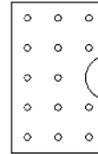
**Figura B-9. Losas FAFA**

# TABLA DE PLANCHAS



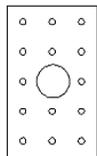
P-6

PERFORACIONES DE 1" @ 15cm.  
 ESPESOR: 3"  
 MALLA ELECTROSOLDADA  
 CANTIDAD: 4 UNIDADES



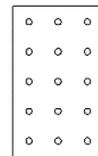
P-2

PERFORACIONES DE 1" @ 15cm.  
 ANCLAJE PARA TUBO DE 6".  
 ESPESOR: 3"  
 MALLA ELECTROSOLDADA  
 CANTIDAD: 1 UNIDADES



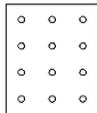
P-1

PERFORACIONES DE 1" @ 15cm.  
 ESPESOR: 3"  
 MALLA ELECTROSOLDADA  
 CANTIDAD: 1 UNIDADES



P-4

PERFORACIONES DE 1" @ 15cm.  
 ESPESOR: 3"  
 MALLA ELECTROSOLDADA  
 CANTIDAD: 1 UNIDADES



P-5

PERFORACIONES DE 1" @ 15cm.  
 ANCLAJE PARA TUBO DE 6".  
 ESPESOR: 3"  
 MALLA ELECTROSOLDADA  
 CANTIDAD: 4 UNIDADES

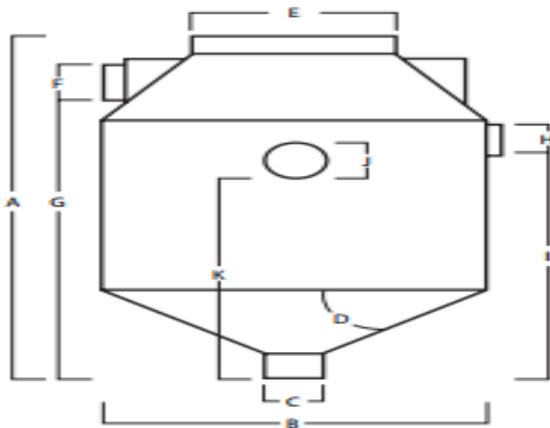


P-3

PERFORACIONES DE 1" @ 15cm.  
 ANCLAJE PARA TUBO DE 6".  
 ESPESOR: 3"  
 MALLA ELECTROSOLDADA  
 CANTIDAD: 1 UNIDADES

**Fuente: Elaboración propia**

**Figura B-1 Dimensiones del biodigestor**



**Fuente: Rotoplas**

**Tabla B-1. Cuadro de dimensiones**

Referencia	RP - 600 L	RP - 1 300 L	RP - 3 000 L	RP - 7 000 L
A	1.60 m	1.90 m	2.10 m	2.60 m
B	0.86 m	1.15 m	2.00 m	2.40 m
C	0.25 m	0.25 m	0.25 m	0.25 m
D	45 °	45 °	45 °	45 °
E	18"	18"	18"	18"
F	4"	4"	4"	4"
G	1.33 m	1.64 m	1.83 m	2.38 m
H	2"	2"	2"	2"
I	1.27 m	1.54 m	1.68 m	2.27 m
J	2"	2"	2"	2"
K	1.15 m	1.39 m	1.48 m	1.87 m

Fuente: Rotoplas

**Tabla B-2 Cuadro de Capacidades**

Tipo de Usuario	Aportación / Consumo diario por usuario	RP - 600 L (600 L)	RP - 1 300 L (1 300 L)	RP - 3 000 L (3 000 L)	RP - 7 000 L (7 000 L)
Zona Rural	130 L	5 personas	10 personas	25 personas	60 personas
Zona Urbana	260 L	2 personas	5 personas	10 personas	23 personas
Oficina	30 L	20 personas	43 personas	100 personas	233 personas

Fuente: Rotoplas

## APÉNDICES

### APÉNDICE A. GRÁFICOS Y TABLAS DE ENCUESTA

**Tabla A.1 Población en aldea "Casa padre Wassón"**

POBLACIÓN DE CASA PADRE WASSON				
	POBLACIÓN	FEMENINO	MASCULINO	TOTAL
Internos	INTERNOS:	36	44	80
Internos	SEMI INTERNOS	10	6	16
Internos	AÑO FAMILIAR	7	10	17
Internos	BACHILLERATO	4	4	8
externos	PROG. EXTERN@S PREVENTIVO (Estado - Gobierno)	29	23	52
externos	PROGRAMA EXTERNOS COMUNITARIO (ESCUELA)	41	35	76
	<b>TOTAL</b>	<b>127</b>	<b>122</b>	<b>249</b>

**Fuente: Nuestros Pequeños Hermanos (NPH)**

## APÉNDICE C. HOJAS DE CÁLCULO DEL DISEÑO DE LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO.

A continuación, se presentan las hojas de cálculo para el dimensionamiento del tanque séptico, FAFA, y humedal artificial.

**Tabla C-1. Diseño de tanque séptico**

DATOS INICIALES				
DATOS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD	CRITERIOS
Población para internado	P	114.00	hab.	
Poblacion para oficina	P	8.00	hab.	
Aporte per capita	Q	45.00	lppd	Oficinas y tienda
Aporte per capita	Q	115.00	lppd	Planteles educativos y residencias externas
Cantidad de lodos frescos	Lf	1.00	lt/hab*dia	Según INAA
Relacion largo/ancho	l/b	2.00		Debera estar entre 2:1 y 5:1 según CEPIS
DBO5 Afluente		487.10	mg/l	Fuente: Enacal
DQO Afluente		1,017.20	mg/l	Fuente: Enacal
SS Afluente		893.40	mg/l	Fuente: Enacal
Coliformes Afluente		3.70E+08	NMP/100ml	Fuente: Enacal
Periodo de Limpieza	N	2.00	año	Debera estar entre 2 y 5 años según CEPIS, minimo segun INAA 1 año
Numero de camaras	No	1.00		Considerar compartimentacion si Vol>5m3
Altura util	H	1.50	m	Minimo según INAA 1.20m

CÁLCULO	SÍMBOLO	FÓRMULA	VALOR	UNIDAD	CRITERIOS
Periodo de retencion	PR	$PR = 1.5 - 0.3\log(PXQ)$	0.29	dias	Minimo según CEPIS 6h
			6.97	horas	
Volumen requerido para la sedimentacion	Vs	$V_s = 10^{-3} \times (P \times Q) \times PR$	3127.87	lts	Formula del CEPIS
			3.13	m <sup>3</sup>	
Volumen de almacenamiento de lodos	Vd	$V_d = G \times P \times N \times 10^{-3}$	15.86	m3	La capacidad para almacenamiento de lodo digerido deberá ser para un período mínimo de un año.
Volumen de lodos producidos	G		0.12	lt/hab*dia	Según CEPIS 45 litros/hab*año +20lt/hab*año por grasas
			65.00	lt/hab*año	
Volumen de natas	Vn		0.70	m3	Minimo según CEPIS 0.7m3
Volumen total	Vt	$V_s + V_d + V_n$	19.69	m3	
Area de la camara septica	A	$V_t / H$	13.13	m2	Minimo según CEPIS 2.0m2
Profundidad maxima de espuma sumergida	He	$V_n / A$	0.05	m	Formula del CEPIS
Espacio de seguridad		Es	0.10	m	Minimo según CEPIS 0.10m
Altura de almacenamiento de lodos	Hd	$V_d / A$	1.21	m	
Profundidad minima requerida para la sedimentacion	Hs	$H_s = \frac{V_s}{A}$	0.24	m	Minimo según CEPIS 0.30m
Espacio libre	Hli		0.30	m	Minimo según CEPIS 0.30m
Profundidad neta del tanque septico	Hn	$H_e + H_s + H_d + E_s$	1.90	m	Minimo 0.75m según CEPIS
Largo	L	$L / b \sqrt{(A/L/b)}$	5.12	m	
Ancho	b	$\sqrt{(A/L/b)}$	2.56	m	El ancho no debe ser mayor que 2Hn, según INAA

Fuente: Elaboración propia

**Tabla C-2. Diseño del humedal artificial**

DISEÑO GEOMÉTRICO					
<b>Número de Biofiltros</b>	<b>N</b>		<b>1</b>	<b>unid</b>	
Superficie Unitaria	Asu	$A_s/N$	121.500	m <sup>2</sup>	Cumple!
Caudal Unitario	Qmu	$Q_m/N$	11.232	m <sup>3</sup> /día	
Pendiente del Fondo del Lecho	i		0.005	m/m	<= 0.005 m/m
Relacion Largo/Ancho	L/B		1.50		1:1.5
<b>Ancho Unitario</b>	<b>B</b>	$\sqrt{\frac{A_{su}}{N}}$	<b>9.000</b>	<b>m</b>	
<b>Largo Unitario</b>	<b>L</b>	$A_{su}/B$	<b>13.500</b>	<b>m</b>	
DETALLES GEOMÉTRICO					
Espesor de Tierra Superficial	Ht		0.10	m	0.05 - 0.15 m
Altura de Borde Libre	BL		0.20	m	0.2 - 0.9 m
Espesor del Lecho Filtrante en la Entrada del Biofiltro	H1	$H_m - (L/2 * i)$	0.67	m	
Profundidad del Humedal en la Entrada del Biofiltro	He	$H_z + BL + H_1$	0.97	m	
Espesor del Lecho Filtrante en la Salida del Biofiltro	H2	$H_m + (L/2 * i)$	0.73	m	
Profundidad de Salida del Humedal	Hs	$H_z + BL + H_2$	1.03	m	
Talud a lo largo	zL				
Margen Extra de Longitud a la Entrada del Humedal	Le	$H_s/zL$	0.0000	m	
Margen Extra de Longitud a la Salida del Humedal	Ls	$H_1/zL$	0.0000	m	
<b>Longitud Total de Biofiltro</b>	<b>Lt</b>	$L + L_e + L_s$	<b>13.500</b>	<b>m</b>	
Talud de Entrada del Humedal	zB				
Margen Extra de la Base del Humedal	Bm	$H_s/zB$	0.00	m	
Talud a lo ancho de la Salida del Humedal	zB'	$H_1/zB_m$	0	1	

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla C-3. Dimensionamiento del filtro anaerobio de flujo ascendente**

DIMENSIONAMIENTO DE FAFA					
CÁLCULO	SÍMBOLO	FÓRMULA	VALOR	UNIDAD	CRITERIOS
Capacidad	VT	VT=1.6CNT	5004.59	lts	
			5.00	m <sup>3</sup>	
Altura util	Hu		1.80	m	Para cualquier volumen, según CEPIS, Hu es 1.80
Altura del lecho filtrante			1.20	m	Altura Max. 1.20
Tiempo de retencion	T		0.29	dias	
Area de tanque	A	VT/1.8	2.78	m <sup>2</sup>	
Ancho de tanque	B	$\sqrt{A}$	1.67	m	El filtro debera ser de seccion cuadrada según INAA
Longitud del tanque	L	$\sqrt{A}$	1.67	m	

**Fuente: Elaboración propia**

## **APÉNDICE B. DISEÑO ESTRUCTURAL DE PLANTA DE TRATAMIENTO**

Los tanques de concreto reforzados no pre-estresados han sido utilizados extensivamente en proyectos municipales e industriales por muchas décadas. El diseño de estas estructuras requiere no solo la atención de las cargas admisibles, sino también de servicialidad. Un diseño de tanque apropiado debe ser capaz de soportar las cargas aplicadas sin fisuras que puedan producir filtraciones. La meta de diseñar y construir estructuralmente un tanque que no filtre es conseguida proveyendo la apropiada cantidad y distribución de refuerzo, el apropiado espaciamiento y detallado de juntas de construcción y el uso de concreto de calidad colocado con buenas prácticas.

Una revisión a los reportes del comité ACI 350 titulado Estructuras de concreto medioambientales (Environmental Engineering Concrete Structures) es esencial en el entendimiento del diseño de tanques. El documento recomienda que, el diseño estructural debe ser conforme a los códigos de construcción para estructuras de concreto (ACI 318). Además, un conocimiento de la implementación del ACI 318 es necesario.

La asociación de cemento Portland (PCA por sus siglas en inglés) dispone de un documento en el que reúne coeficientes para la determinación de esfuerzos como resultado del análisis para tanques de almacenamiento de líquidos. Para el diseño de los tanques se han utilizado estos coeficientes por ser de fácil uso y dar resultados satisfactorios.

En este documento se presentará solamente el procedimiento de diseño para el tanque séptico y se mostrará al final de este apéndice los resultados de diseño de todos los otros sistemas de tratamiento debido a que los procedimientos de diseño son similares y se utilizan los mismos criterios y fórmulas de diseño.

**Tabla B-1. Diseño estructural de tanque séptico.**

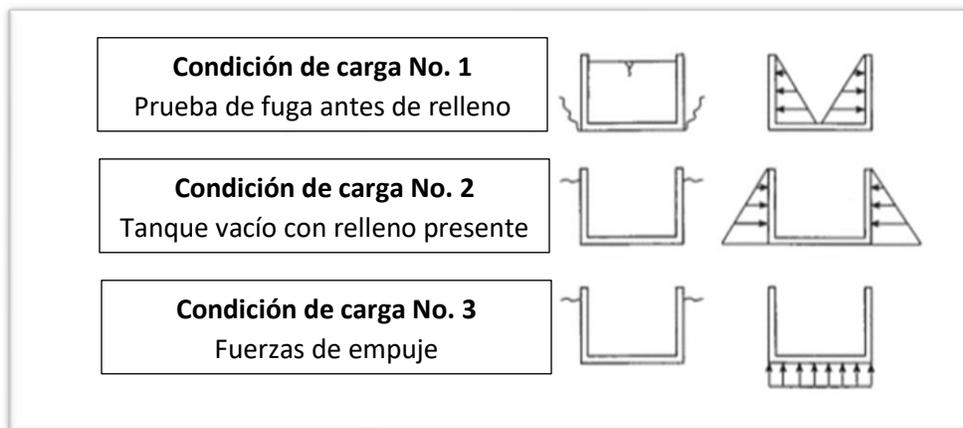
<b>Dimensiones y especificaciones de tanque</b>		
<b>Datos</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Altura del Tanque (a)	7.76	ft
Ancho del Tanque ©	9.74	ft
Largo del tanque(b)	18.14	ft
Peso del agua	70	lb/ft <sup>3</sup>
Peso del suelo humedo	100	lb/ft <sup>3</sup>
Coeficiente de presion activa del suelo (ka)	0.3	N/A
Presion activa del agua (K)	1.0	N/A
f'c	3,000	PSI
Fy	60,000	PSI
Altura del suelo con respecto a muro	7.76	ft
Proyeccion de losa despues de muro	1.7	ft
Espesor de pared (t)	8	in
Recubrimiento	2	in
Espesor losa de techo	0.54	ft
Espesor de losa cimentacion	0.67	ft

**Fuente: Elaboracion propia**

### Condiciones de apoyos

<b>Paredes</b>	Fijo
<b>Losa de Cimentación</b>	Fijo
<b>Losa de techo</b>	Articulado

### Condiciones de carga



**Fuente: PCA**

## Diseño de muro por condición de carga No. 1

Esta condición de carga representa la situación donde el tanque está lleno y la resistencia externa del suelo es ignorado. Esta condición de carga sucede cuando el tanque es probado por fuga antes del relleno tras las paredes.

Presión del agua ( $q$ ) =  $K_a * W_a = 543.04 \text{ lb/ft}^2$  (Distribución Triangular)

Relación de longitud/Altura =  $b/a = 2.3$

Relación de Ancho/Alto =  $c/a = 1.3$

a) Diseño por fuerzas de corte

Las fuerzas de corte deben de ser consideradas en varias ubicaciones a lo largo de las paredes del tanque. El coeficiente de corte seleccionado ( $C_s$ ) para el caso de apoyo 4 es  $b/a=2.5$ ,  $c/a=1.25$ .

<b>Para <math>b/a = 2.5</math> pared larga</b>	
<b>Borde inferior - Punto medio</b>	0.4
<b>Borde lateral – Maximo</b>	0.26
<b>Borde Lateral - Punto medio</b>	0.26
<b>Borde Superior - Punto medio</b>	0.11

<b>Para <math>b/a = 1.25</math> pared corta</b>	
<b>Borde inferior - Punto medio</b>	0.36
<b>Borde lateral – Maximo</b>	0.25
<b>Borde Lateral - Punto medio</b>	0.25
<b>Borde Superior - Punto medio</b>	0.09

(1) Chequeo de corte en el fondo de la pared

Basado en lo antes expuesto, la pared larga debería ser diseñado para un coeficiente de corte máximo ( $C_s$ ) de 0.40 mientras que la pared corta debería ser

diseñado para un coeficiente de corte máximo ( $C_s$ ) de 0.36, pero al tener los mismos espesores de pared la fuerza de corte será determinado basado en el coeficiente máximo de corte de 0.40.

$$V = C_s * q * a$$

$$V = 0.40 * 543.04 * 7.76$$

$$V = 1685.08 \text{ lb}$$

El cortante puede ser chequeado a una distancia  $d$  en lugar de la base, pero el cortante no es crítico para este cálculo. (Se utilizan coeficientes de ACI 350)

$$V_u = 1.7 * V$$

$$V_u = 2,864.63 \text{ lb}$$

Desde que la fuerza a tensión del muro adyacente es pequeña, el cortante admisible está dado por:

$$V_c = 2 * \sqrt{f'_c} * b * d$$

Donde  $d$  = espesor – recubrimiento –  $db/2$

$$d = 5.8125 \text{ in}$$

$$V_c = 7,640.73 \text{ lb}$$

$$\phi V_c = 6,494.62 \text{ lbs} > V_u, \text{ Cumple!}$$

(2) Chequeo de cortante en borde lateral de la pared larga

$$V = C_s * q * a$$

$$V = 1095.30 \text{ lb}$$

$$V_u = 1862.01 \text{ lb}$$

Desde que la pared larga está sujeta a tensiones simultaneas debido al cortante en la pared corta el cortante permisible está dado por 11.3.2.3 del ACI 318-95:

$$V_c = 2 \left( 1 + \frac{Nu}{500A_g} \right) \sqrt{f'_c} * b * d$$

Donde Nu= Tensión en pared larga debido al corte en la pared corta.

El corte en la pared corta será:

$$V = C_s * q * a$$

$$V = 1053.17 \text{ lb}$$

$$Nu = -1.7 * V = -1790.40 \text{ lb}$$

$$A_g = 96 \text{ in}^2$$

$$d = 5.8125 \text{ in}$$

$$V_c = 7,355.73 \text{ lb}$$

$$\phi V_c = 6,252.37 \text{ lb} > V_u, \text{ Cumple!}$$

b) Diseño por pandeo vertical debido a momento (Determinación de acero vertical)

Según las tablas proporcionadas por el PCA para el diseño de tanques rectangulares se ha seleccionado un coeficiente de momento en x (Mx coef.) de 65.

El momento por pandeo vertical es determinado de la siguiente manera:

$$M_x = M_x \text{ Coef.} * q a^2 / 1000$$

$$M_x = 25.49 \text{ in-kips}$$

Para estructuras sanitarias

Mu= Coeficiente Sanitario x 1.7 x M

Mux= 1.3 x 1.7 x 0.84 x MxCoef.

Mux= 56.33 in-kips

$$\frac{Mu}{\phi f'c b d^2} = 0.05$$

$\omega = 0.0941$

El acero por utilizar y separación se determina según especificación ACI 318-14 sección 7.7.2.3

As(requerido)= 0.328in<sup>2</sup>

Separación= 11.22 in

c) Diseño por pandeo horizontal debido a momento (Determinación de acero horizontal)

Según las tablas proporcionadas por el PCA para el diseño de tanques rectangulares se ha seleccionado un coeficiente de momento en y (My coef.) de 13.

El momento por pandeo vertical es determinado de la siguiente manera:

My= My Coef. x qa<sup>2</sup>/1000

My= 5.10 in-kips

Para estructuras sanitarias

Mu= Coeficiente Sanitario x 1.7 x M

Muy= 1.3 x 1.7 x 0.84 x MyCoef.

Muy= 11.27 in-kips

$$\frac{Mu}{\phi f'c b d^2} = 0.01$$

$$\omega = 0.0197$$

El acero por utilizar y separación se determina según especificación ACI 318-14 sección 7.7.2.3

$$As(\text{requerido}) = 0.17 \text{ in}^2$$

$$\text{Separación} = 13.64 \text{ in}$$

d) Espaciamiento máximo de varilla para control de fisura y refuerzo de contracción y temperatura.

$$As = 0.17 \text{ in}^2$$

$$\text{Separación} = 12 \text{ in}$$

## **Diseño de muro por condición de carga No. 2**

Esta condición de carga representa la situación donde el tanque está vacío y la presión externa del suelo está presente. Durante la construcción, el relleno y compactación puede ejercer fuerzas sobre la estructura de manera considerable sobre las cargas de servicio. La altura del suelo puede ser considerado de manera conservadora en la parte alta del tanque.

$$\text{Presión del suelo } (q) = K_a * W_a = 232.73 \text{ lb/ft}^2 \text{ (Distribución Triangular)}$$

$$\text{Relación de longitud/Altura} = b/a = 2.3$$

$$\text{Relación de Ancho/Alto} = c/a = 1.3$$

a) Diseño por fuerzas de corte

Las fuerzas de corte deben de ser consideradas en varias ubicaciones a lo largo de las paredes del tanque. El coeficiente de corte seleccionado (Cs) para el caso de apoyo 4 es  $b/a=2.5$ ,  $c/a=1.25$ .

<b>Para <math>b/a = 2.5</math> pared larga</b>	
<b>Borde inferior - Punto medio</b>	0.4
<b>Borde lateral – Maximo</b>	0.26
<b>Borde Lateral - Punto medio</b>	0.26
<b>Borde Superior - Punto medio</b>	0.11

<b>Para <math>b/a = 1.25</math> pared corta</b>	
<b>Borde inferior - Punto medio</b>	0.36
<b>Borde lateral – Maximo</b>	0.25
<b>Borde Lateral - Punto medio</b>	0.25
<b>Borde Superior - Punto medio</b>	0.09

(1) Chequeo de corte en el fondo de la pared

Basado en lo antes expuesto, la pared larga debería ser diseñado para un coeficiente de corte máximo (Cs) de 0.40 mientras que la pared corta debería ser diseñado para un coeficiente de corte máximo (Cs) de 0.36, pero al tener los mismos espesores de pared la fuerza de corte será determinado basado en el coeficiente máximo de corte de 0.40.

$$V = C_s \cdot q \cdot a$$

$$V = 0.40 \cdot 232.73 \cdot 7.76$$

$$V = 722.18 \text{ lb}$$

El cortante puede ser chequeado a una distancia  $d$  en lugar de la base, pero el cortante no es crítico para este cálculo. (Se utilizan coeficientes de ACI 350)

$$V_u = 1.7 \cdot V$$

$$V_u = 1227.70 \text{ lb}$$

Desde que la fuerza a tensión del muro adyacente es pequeña, el cortante admisible está dado por:

$$V_c = 2 * \sqrt{f'c} * b * d$$

Donde d = espesor – recubrimiento – db/2

$$d = 5.8125 \text{ in}$$

$$V_c = 7,640.73 \text{ lb}$$

$$\phi V_c = 6,494.62 \text{ lbs} > V_u, \text{ Cumple!}$$

(2) Chequeo de cortante en borde lateral de la pared larga

$$V = C_s * q * a$$

$$V = 469.41 \text{ lb}$$

$$V_u = 798.01 \text{ lb}$$

Desde que la pared larga está sujeta a tensiones simultaneas debido al cortante en la pared corta el cortante permisible este está dado por 11.3.2.3 del ACI 318-95:

$$V_c = 2 \left( 1 + \frac{N_u}{500A_g} \right) \sqrt{f'c} * b * d$$

Donde  $N_u$  = Tensión en pared larga debido al corte en la pared corta.

El corte en la pared corta será:

$$V = C_s * q * a$$

$$V = 451.36 \text{ lb}$$

$$N_u = -1.7 * V = -767.31 \text{ lb}$$

$$A_g = 96 \text{ in}^2$$

$$d = 5.8125 \text{ in}$$

$$V_c = 7,518.59 \text{ lb}$$

$$\phi V_c = 6,390.80 > V_u, \text{ Cumple!}$$

b) Diseño por pandeo vertical debido a momento (Determinación de acero vertical)

Según las tablas proporcionadas por el PCA para el diseño de tanques rectangulares se ha seleccionado un coeficiente de momento en x (Mx coef.) de 65.

El momento por pandeo vertical es determinado de la siguiente manera:

$$M_x = M_x \text{ Coef.} \times q a^2 / 1000$$

$$M_x = 10.92 \text{ in-kips}$$

Para estructuras sanitarias

$$M_u = \text{Coeficiente Sanitario} \times 1.7 \times M$$

$$M_{ux} = 1.3 \times 1.7 \times 0.84 \times M_x \text{Coef.}$$

$$M_{ux} = 24.14 \text{ in-kips}$$

$$\frac{M_u}{\phi f' c b d^2} = 0.02$$

$$\omega = 0.0391$$

El acero por utilizar y separación se determina según especificación ACI 318-14 sección 7.7.2.3

$$A_s(\text{requerido}) = 0.17 \text{ in}^2$$

$$\text{Separación} = 13.64 \text{ in}$$

c) Diseño por pandeo horizontal debido a momento (Determinación de acero horizontal)

Según las tablas proporcionadas por el PCA para el diseño de tanques rectangulares se ha seleccionado un coeficiente de momento en y (My coef.) de 13.

El momento por pandeo vertical es determinado de la siguiente manera:

$$M_y = M_y \text{ Coef.} \times qa^2/1000$$

$$M_y = 2.18 \text{ in-kips}$$

Para estructuras sanitarias

$$M_u = \text{Coeficiente Sanitario} \times 1.7 \times M$$

$$M_{uy} = 1.3 \times 1.7 \times 0.84 \times M_y \text{Coef.}$$

$$M_{uy} = 4.83 \text{ in-kips}$$

$$\frac{M_u}{\phi f'_{cb} d^2} = 0.004$$

$$\omega = 0.0099$$

El acero por utilizar y separación se determina según especificación ACI 318-14 sección 7.7.2.3

$$A_s(\text{requerido}) = 0.17 \text{ in}^2$$

$$\text{Separación} = 13.64 \text{ in}$$

d) Espaciamiento máximo de varilla para control de fisura y refuerzo de contracción y temperatura.

$$A_s = 0.20 \text{ in}^2$$

$$\text{Separación} = 112 \text{ in}$$

### Diseño bajo condiciones de carga No. 3

Dependiendo en la altura del nivel de agua freática, las fuerzas se pueden desarrollar debajo del tanque y puede ser lo suficientemente alto para levantar la estructura cuando este está vacío. El peso de la losa y muros, así como el peso del suelo sobre la proyección de losa, puede ser capaz de resistir las fuerzas de empuje del agua.

Determinación del peso del tanque.

Tabla de Pesos		
peso del agua	95897.43	lb
Peso de paredes	41,806.46	lb
Peso de losa inferior	27486.43	lb
Peso de losa superior	13870.05	lb
Peso del tanque	83,162.94	lb
Peso del suelo en proyeccion de losa	82489.57	lb
Peso total a resistir	261,549.94	lb

Determinación de la fuerza de empuje

Determinación de fuerza de empuje		
Area de losa inferior	282.93	ft <sup>2</sup>
Presion del agua	589.94	lbs/ft <sup>2</sup>
Fuerza de empuje	166,909.44	lbs
Factor de seguridad	1.6	Cumple!

### Diseño de losa superior

Se asume que el tanque tendrá una losa simplemente apoyada. El espesor de la losa se asume de 6.5 in basado en el criterio de deflexión limite (ACI 318 – 14). La losa será diseñada para una carga viva de 100 psf.

La losa está diseñada usando el resultado de análisis de placas para el caso 10, resultados presentados en las tablas de la PCA. El coeficiente de diseño está basado en  $b/a = 1.75$ .

(a) Diseño por momento flexionante

Los coeficientes de momento  $M_x$ ,  $M_y$  y  $M_{xy}$  para  $b/a= 1.75$  estan dadas en las tablas presentadas por la PCA. Las significantes torsiones son mas que todo en las esquinas de la losa. Asi como, el coeficiente de momento torsionante  $M_{xy}$  necesita ser incluido para determinar el refuerzo requerido. El coeficiente de momento de diseño total  $M_{tx}$  y  $M_{ty}$  se derivan del procedimiento mostrado a continuación:

Donde los momentos positivos producen tensión (parte baja de la losa):

$$M_{tx} = M_x + |M_{xy}| > 0$$

$$M_{ty} = M_y + |M_{xy}| > 0$$

Donde el momento negativo produce tensión (Cerca de las esquinas):

$$M_{tx} = M_x - |M_{xy}| < 0$$

$$M_{ty} = M_y - |M_{xy}| < 0$$

Con lo antes expuesto los coeficientes de momento a utilizarse son los siguientes:

Tabla de coeficiente de momento	
<b>Coef. <math>M_x</math></b>	100
<b>Coef. <math>M_{xy}</math></b>	53
<b>Coef. <math>M_y</math></b>	37
<b>Coef <math>M_{tx}</math> (para momento positivo a lo largo del claro corto)</b>	153
<b>Coef. <math>M_{ty}</math> (Para momento positivo a lo largo del CL Largo)</b>	90
<b>Coef. <math>M_{tx}</math> (Para momento negativo a lo largo del CL corto)</b>	0
<b>Coef. <math>M_{ty}</math> (Para momento negativo a lo largo del CL Largo)</b>	-16

(i) Acero en dirección corta

Momento positivo al centro:

$$Mtx = \frac{Mtx \text{ Coef.} * qu * a^2}{1000}$$

$$Mtx = 4.5 \text{ ft-kips}$$

$$\frac{Mu}{\phi f' c b d^2} = 0.0961$$

$$\omega = 0.0906$$

$$\text{Cuantía de acero} = 0.005$$

(ii) Acero en dirección larga

Momento positivo al centro:

$$Mtx = \frac{Mtx \text{ Coef.} * qu * a^2}{1000}$$

$$Mtx = 14.63 \text{ ft-kips}$$

$$\frac{Mu}{\phi f' c b d^2} = 0.4269$$

$$\omega = 0.3$$

$$\text{Cuantía de acero} = 0.015$$

(iii) Momento cerca de esquinas

$$Mtx, Mty = 2.60 \text{ ft-kips}$$

$$\frac{Mu}{\phi f' c b d^2} = 0.076$$

$$\omega = 0.0671$$

$$\text{Cuantía de acero} = 0.0034$$

Refuerzo por utilizar

Refuerzo a utilizar		
Descripción	Area (in <sup>2</sup> )	Separación (in)
Refuerzo mínimo	0.1425	18
Contracción y Temperatura	0.1404	18

(b) Chequeo por corte

$$\phi V_c = \phi 2 * \sqrt{f'c} * b * d$$

$$V_u = C_s * q_u * a$$

$$q_u = 1.4D + 1.7L$$

$$q_u = 380 \text{ psf}$$

$$C_s = 0.46$$

$$V_u = 1356.04 \text{ lb}$$

$$\phi V_c = 4,678.92 \text{ lb} > V_u, \text{ Cumple}$$

(c) Chequeo por deflexión

Deflexión por carga de servicio

$$q = D + L$$

$$q = 250 \text{ psf}$$

$$\text{Deflexión} = \frac{C_d * q * a^4}{1000D}$$

$$\text{Donde } D = \frac{E_c * t^3}{12(1 - \mu^2)}$$

$$E_c = 3834 \text{ ksi para concreto de 4 ksi}$$

$$t = 12 \text{ in}$$

$$\mu = 0.2$$

$$D = 91,398.63 \text{ in-kips}$$

$$\text{Deflexión} = 0.1 \text{ in}$$

$$\text{Deflexión max} = 1.21 \text{ in}$$

## Resultados del diseño Estructural

Tanque Septico

Dimensiones						
Descripción	Ancho (ft)	Largo (ft)	Espesor (ft)	Ancho (m)	Largo (m)	Espesor (m)
<b>Pared</b>	9.73	18.13	0.66	2.97	5.53	0.20
<b>Losa cimentacion</b>	13.13	21.53	0.67	4.00	6.56	0.20
<b>Losa techo</b>	9.73	18.13	0.54	2.97	5.53	0.17

Resume de refuerzo para pared larga					
Descripcion	Refuerzo	No. var. Muro C	No. Var. Muro B	Desarrollo (in)	Desarrollo (m)
<b>Cara interna vertical</b>	#5 @ 11 in	11	20	16	0.4
<b>Cara externa vertical</b>	#4 @ 14 in	9	16	13	0.3
<b>Cara interna horizontal</b>	#4 @ 12 in	10	19	13	0.3
<b>Cara externa horizontal</b>	#4 @ 14 in	9	16	13	0.3

Acero losa de techo						
Claro	cuantia req.	Cuantia min.	As (in <sup>2</sup> )	Varilla	Separacion (in)	Ref. en esquinas
<b>Claro corto</b>	0.005	0.0033	0.35	#4	7	1.95
<b>Claro largo</b>	0.0150	0.0033	1.17	#5	3	3.63
<b>esquina largo</b>	0.0027	0.0033	0.32	#5	11	0.00

Acero losa de cimentacion					
Claro	cuantia req.	Cuantia min.	As (in <sup>2</sup> )	Varilla	Separacion (in)
<b>Claro corto</b>	0.001	0.001	0.57	#5	6
<b>Claro largo</b>	0.0013	0.0013	0.77	#5	5

## Filtro anaerobio de flujo ascendente

Dimensiones						
Descripción	Ancho (ft)	Largo (ft)	Espesor (ft)	Ancho (m)	Largo (m)	Espesor (m)
Pared	6.47	6.47	0.50	1.97	1.97	0.15
Losa cimentacion	9.27	9.27	0.50	2.83	2.83	0.15
Losa techo	6.47	6.47	0.54	1.97	1.97	0.17

Resume de refuerzo para pared larga					
Descripcion	Refuerzo	No. var. Muro C	No. Var. Muro B	Desarrollo (in)	Desarrollo (m)
Cara interna vertical	#4 @ 12 in	7	7	13	0.3
Cara externa vertical	#4 @ 18 in	5	5	13	0.3
Cara interna horizontal	#4 @ 12 in	7	7	13	0.3
Cara externa horizontal	#4 @ 18 in	5	5	13	0.3

Acero losa de techo						
Claro	cuantia req.	Cuantia min.	As (in <sup>2</sup> )	Varilla	Separacion (in)	Ref. en esquinas
Claro corto	0.002	0.0033	0.26	#4	9	1.29
Claro largo	0.0029	0.0033	0.26	#4	9	1.29
esquina largo	0.002738	0.0033333	0.24	#4	10	0.00

Acero losa de cimentacion					
Claro	cuantia req.	Cuantia min.	As (in <sup>2</sup> )	Varilla	Separacion (in)
Claro corto	0.001	0.001	0.40	#5	9
Claro largo	0.0010	0.0010	0.40	#5	9

## Humedal Artificial

Dimensiones						
Descripción	Ancho (ft)	Largo (ft)	Espesor (ft)	Ancho (m)	Largo (m)	Espesor (m)
<b>Paredes</b>	30.50	45.26	0.50	9.30	13.8	0.15
<b>Losa cimentación</b>	30.50	45.26	0.50	9.30	13.8	0.15

Resume de refuerzo para pared larga					
Descripción	Refuerzo	No. var. Muro C	No. Var. Muro B	Desarrollo (in)	Desarrollo (m)
<b>Cara interna vertical</b>	#5 @ 12 in	31	46	0	0
<b>Cara externa vertical</b>	#5 @ 12 in	31	46	0	0
<b>Cara interna horizontal</b>	#5 @ 12 in	2	2	0	0
<b>Cara externa horizontal</b>	#5 @ 12 in	2	2	0	0

Acero losa de cimentación					
Claro	cuantia req.	Cuantia min.	As (in <sup>2</sup> )	Varilla	Separacion (in)
<b>Claro corto</b>	0.0014	0.0014	3.12	#4	4
<b>Claro largo</b>	0.0014	0.0014	4.63	#4	4

## APENDICE C. PRESUPUESTO

**Tabla C.1 Presupuesto de tanque séptico.**

Tanque septico				
Etapas	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
<b>Preliminares</b>				C\$ 1,500.96
Limpieza del terreno	m2	37.4	C\$ 25.39	C\$ 949.55
Trazado y replanteo	m2	16.41	C\$ 33.61	C\$ 551.41
<b>Movimiento de tierra</b>				C\$ 21,976.48
Excavacion para el tanque septico	m3	70.23	C\$ 216.29	C\$ 15,190.05
Reconformacion del terreno	m3	0.00	C\$ 64.77	C\$ -
Relleno compactado con material mejorado	m3	0.00	C\$ 64.77	C\$ -
Desalojo de material	m3	70.23	C\$ 75.26	C\$ 5,285.51
Entibado de proteccion	C/U	314.00	C\$ 4.78	C\$ 1,500.92
<b>Obra civil</b>				C\$ 176,518.61
Formaleta	C/U	578	C\$ 4.78	C\$ 2,762.84
Cimbra para Cimentación	C/U	23.0	C\$ 4.78	C\$ 109.94
Formaletas Paredes	C/U	536.0	C\$ 4.78	C\$ 2,562.08
Formaletas Losa de techo	C/U	19.0	C\$ 4.78	C\$ 90.82
Losa de cimentacion de concreto	m3	6.1	C\$ 10,061.60	C\$ 61,431.39
Concreto de 3000 PSI (1:2:3)	m3	6.1		C\$ 20,900.59
Cemento GU	bolsas	52.0	C\$ 280.00	C\$ 14,560.00
Arena	m <sup>3</sup>	2.9	C\$ 850.00	C\$ 2,439.16
Grava	m <sup>3</sup>	4.3	C\$ 900.00	C\$ 3,901.43
Agua	Gal	322.6	C\$ -	C\$ -
Acero de refuerzo	lb	1426.425		C\$ 40,025.49

Varilla #5 @ 6 in lado corto ASTM G-60	lb	658.4	C\$ 28.06	C\$ 18,473.30
Varilla #5 @ 5 in lado largo ASTM G-60	lb	768.1	C\$ 28.06	C\$ 21,552.18
Alambre de amarre #18	lb	14.44	C\$ 35.00	C\$ 505.31
Paredes de concreto	m3	8.6	C\$ 8,369.58	C\$ 71,748.54
Concreto de 3000 PSI (1:2:3)	m3	8.6		C\$ 29,342.58
Cemento GU Canal	bolsas	73.0	C\$ 280.00	C\$ 20,440.00
Arena	m <sup>3</sup>	4.0	C\$ 850.00	C\$ 3,424.73
Grava	m <sup>3</sup>	6.1	C\$ 900.00	C\$ 5,477.85
Agua	Gal	453.0	C\$ -	C\$ -
Acero de refuerzo	lb	1482.9		C\$ 41,609.97
Cara interna - vertical #5 @ 11 in Pared corta	lb	199.8	C\$ 28.06	C\$ 5,605.70
Cara externa - vertical #4 @ 14 in Pared corta	lb	104.8	C\$ 28.06	C\$ 2,940.62
Cara interna - horizontal #4 @ 12 in Pared corta	lb	116.4	C\$ 28.06	C\$ 3,267.35
Cara externa - horizontal #4 @ 14 in Pared corta	lb	104.8	C\$ 28.06	C\$ 2,940.62
Cara interna - vertical #5 @ 11 in Pared larga	lb	363.2	C\$ 28.06	C\$ 10,192.19
Cara externa - vertical #4 @ 14 in Pared larga	lb	186.3	C\$ 28.06	C\$ 5,227.76
Cara interna - horizontal #4 @ 12 in Pared larga	lb	221.2	C\$ 28.06	C\$ 6,207.97
Cara externa - horizontal #4 @ 14 in Pared larga	lb	186.3	C\$ 28.06	C\$ 5,227.76
Alambre de amarre	lb	22.7	C\$ 35.00	C\$ 795.99
Losa de cubierta de concreto	m3	3.2	C\$ 12,765.24	C\$ 40,217.34
Concreto de 3000 PSI (1:2:3)	m3	3.2		C\$ 10,831.83
Cemento GU	bolsas	27.0	C\$ 280.00	C\$ 7,560.00
Arena	m <sup>3</sup>	1.5	C\$ 850.00	C\$ 1,258.64
Grava	m <sup>3</sup>	2.2	C\$ 900.00	C\$ 2,013.19
Agua	Gal	166.5	C\$ -	C\$ -
Acero de refuerzo	lb	1037.1		C\$ 29,100.61
Varilla #4 @ 7 in lado corto	lb	225.1	C\$ 28.06	C\$ 6,316.87

Varilla #5 @ 3 in lado largo	lb	812.0	C\$ 28.06	C\$ 22,783.74
Alambre de amarre	lb	8.1	C\$ 35.00	C\$ 284.90
Tapas de hormigon armado para revision	m3	0.1	C\$ 4,742.20	C\$ 358.51
Concreto de 3000 PSI (1:2:3)	m3	0.1		C\$ 358.51
Cemento GU	bolsas	1.0	C\$ 280.00	C\$ 280.00
Arena	m <sup>3</sup>	0.0	C\$ 850.00	C\$ 30.20
Grava	m <sup>3</sup>	0.1	C\$ 900.00	C\$ 48.31
Agua	Gal	4.0	C\$ -	C\$ -
<b>Tuberias y accesorios</b>				<b>C\$ 646.49</b>
Tuberia PVC SDR64 de 4"	ML	1.0	C\$ 200.46	C\$ 196.85
Tee PVC de 4"	C/U	2.0	C\$ 224.82	C\$ 449.64
<b>Acabados</b>				<b>C\$ 7,576.61</b>
Repello Mortero 1:3	m <sup>3</sup>	0.4	C\$ 4,245.00	C\$ 1,790.87
Cemento tipo S	m <sup>3</sup>	5.0	C\$ 280.00	C\$ 1,400.00
Arena	m <sup>3</sup>	0.5	C\$ 850.00	C\$ 390.87
Agua	m <sup>3</sup>	22.3	C\$ -	C\$ -
Impermeabilizante (DryCoat)	m <sup>2</sup>	40.2	C\$ 144.00	C\$ 5,785.74
<b>Total</b>			<b>\$ 6,716.75</b>	<b>C\$ 208,219.15</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla C-2 Presupuesto de FAFA**

FAFA				
Etapas	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
Preliminares				C\$ 531.21
Limpieza del terreno	m2	15.8	C\$ 25.39	C\$ 400.53

Trazado y replanteo	m2	3.9	C\$ 33.61	C\$ 130.68
<b>Movimiento de tierra</b>				<b>C\$ 8,875.61</b>
Excavacion para el FAFA	m3	30.2	C\$ 216.29	C\$ 6,521.14
Reconformacion del terreno	m3	0.0	C\$ 64.77	C\$ -
Relleno compactado con material mejorado	m3	0.0	C\$ 64.77	C\$ -
Desalojo de material	m3	30.2	C\$ 75.26	C\$ 2,269.09
Entibado de proteccion	m2	17.86	C\$ 4.78	C\$ 85.38
<b>Obra civil</b>				<b>C\$ 56,110.47</b>
Formaleta	m2	30	C\$ 4.78	C\$ 143.95
Cimbra para Cimentación	m2	1.0	C\$ 4.78	C\$ 4.70
Formaletas Paredes	m2	28.4	C\$ 4.78	C\$ 135.83
Formaletas Losa de techo	m2	0.7	C\$ 4.78	C\$ 3.42
Losa de cimentacion de concreto	m3	1.4	C\$ 17,386.99	C\$ 24,668.60
Concreto de 3000 PSI (1:2:3)	m3	1.4		C\$ 16,033.42
Cemento GU	bolsas	52.0	C\$ 280.00	C\$ 14,560.00
Arena	m3	0.7	C\$ 850.00	C\$ 566.81
Grava	m3	1.0	C\$ 900.00	C\$ 906.61
Agua	Gal	75.0	C\$ -	C\$ -
Acero de refuerzo	lb	307.23		C\$ 8,620.87
Varilla #5 @ 9 in lado corto ASTM G-60	lb	153.6	C\$ 28.06	C\$ 4,310.44
Varilla #5 @ 9 in lado largo ASTM G-60	lb	153.6	C\$ 28.06	C\$ 4,310.44
Alambre de amarre	lb	0.67	C\$ 21.24	C\$ 14.31
Paredes de concreto	m3	2.9	C\$ 9,024.74	C\$ 25,793.91
Concreto de 3000 PSI (1:2:3)	m3	2.9		C\$ 9,968.17
Cemento GU	bolsas	25.0	C\$ 280.00	C\$ 7,000.00
Arena	m3	1.3	C\$ 850.00	C\$ 1,141.82
Grava	m3	2.0	C\$ 900.00	C\$ 1,826.35

Agua	Gal	151.0	C\$	-	C\$	-
Acero de refuerzo	lb	558.9			C\$	15,683.29
Cara interna - vertical #4 @ 12 in Pared corta	lb	81.5	C\$	28.06	C\$	2,287.15
Cara externa - vertical #4 @ 18 in Pared corta	lb	58.2	C\$	28.06	C\$	1,633.68
Cara interna - horizontal #4 @ 12 in Pared corta	lb	81.5	C\$	28.06	C\$	2,287.15
Cara externa - horizontal #4 @ 18 in Pared corta	lb	58.2	C\$	28.06	C\$	1,633.68
Cara interna - vertical #4 @ 12 in Pared larga	lb	81.5	C\$	28.06	C\$	2,287.15
Cara externa - vertical #4 @ 18 in Pared larga	lb	58.2	C\$	28.06	C\$	1,633.68
Cara interna - horizontal #4 @ 12 in Pared larga	lb	81.5	C\$	28.06	C\$	2,287.15
Cara externa - horizontal #4 @ 18 in Pared larga	lb	58.2	C\$	28.06	C\$	1,633.68
Alambre de amarre	lb	4.1	C\$	35.00	C\$	142.45
Losa de cubierta de concreto	m3	0.8	C\$	6,578.06	C\$	5,145.49
Concreto de 3000 PSI (1:2:3)	m3	0.78			C\$	2,772.34
Cemento GU	bolsas	7.0	C\$	280.00	C\$	1,960.00
Arena	m3	0.4	C\$	850.00	C\$	312.50
Grava	m3	0.6	C\$	900.00	C\$	499.84
Agua	Gal	41.3	C\$	-	C\$	-
Acero de refuerzo	lb	84.4			C\$	2,368.83
Varilla #4 @ 9 in lado corto	lb	42.2	C\$	28.06	C\$	1,184.41
Varilla #4 @ 9 in lado largo	lb	42.2	C\$	28.06	C\$	1,184.41
Alambre de amarre	lb	0.1	C\$	35.00	C\$	4.33
Tapas de hormigon armado para revision	m3	0.0756	C\$	4,742.20	C\$	358.51
Concreto de 3000 PSI (1:2:3)	m3	0.0756			C\$	358.51
Cemento GU	bolsas	1.0	C\$	280.00	C\$	280.00
Arena	m3	0.0	C\$	850.00	C\$	30.20
Grava	m3	0.1	C\$	900.00	C\$	48.31
Agua	Gal	4.0	C\$	-	C\$	-

<b>Tuberías y accesorios</b>				C\$ 646.49
Tubería pvc de 4"	ml	1.0	C\$ 200.46	C\$ 196.85
Tee pvc de 4"	und	2	C\$ 224.82	C\$ 449.64
<b>Acabados</b>				C\$ 6,799.57
Repello Mortero 1:3	m <sup>3</sup>	0.2	C\$ 5,405.51	C\$ 1,013.76
Cemento tipo S	m <sup>3</sup>	3.0	C\$ 280.00	C\$ 840.00
Arena	m <sup>3</sup>	0.2	C\$ 850.00	C\$ 173.76
Agua	m <sup>3</sup>	9.9	C\$ -	C\$ -
Impermeabilizante (DryCoat)	m <sup>2</sup>	17.9	C\$ 144.00	C\$ 2,572.00
Planchas de concreto	m <sup>3</sup>	0.9	C\$ 3,427.30	C\$ 3,213.81
Cemento GU	bolsas	8.0	C\$ 280.00	C\$ 2,240.00
Arena	m <sup>3</sup>	0.4	C\$ 850.00	C\$ 374.61
Grava	m <sup>3</sup>	0.7	C\$ 900.00	C\$ 599.20
Agua	Gal	49.5	C\$ -	C\$ -
<b>Total</b>			<b>\$ 2,353.66</b>	<b>C\$ 72,963.34</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla C-3 Presupuesto de Humedal horizontal**

Humedal Artificial				
Etapas	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
<b>Preliminares</b>				C\$ 5,084.54
Limpieza del terreno	m <sup>2</sup>	178.5	C\$ 25.39	C\$ 4,533.13
Trazado y replanteo	m <sup>2</sup>	16.41	C\$ 33.61	C\$ 551.41
<b>Movimiento de tierra</b>				C\$ 10,992.29
Excavación para el biofiltro	m <sup>3</sup>	11.8	C\$ 216.29	C\$ 2,561.31
Reconformación del terreno	m <sup>3</sup>	65.1	C\$ 64.77	C\$ 4,215.49

Relleno compactado con material mejorado	m3	65.1	C\$ 64.77	C\$ 4,215.49
Desalojo de material	m3	0.0	C\$ 75.26	C\$ -
Entibado de proteccion	m2	0.00	C\$ 4.78	C\$ -
<b>Obra civil</b>				<b>C\$ 287,778.93</b>
Formaleta	m2	42	C\$ 4.78	C\$ 201.01
Cimbra para Cimentación	m2	4.4	C\$ 4.78	C\$ 21.16
Formaletas Paredes	m2	37.6	C\$ 4.78	C\$ 179.85
Losa de cimentacion de concreto	m3	20.8	C\$ 9,257.14	C\$ 192,204.38
Concreto de 3000 PSI (1:2:3)	m3	20.8		C\$ 25,202.20
Cemento	bolsas	13.0	C\$ 280.00	C\$ 3,640.00
Arena	m3	9.8	C\$ 850.00	C\$ 8,294.75
Grava	m3	14.7	C\$ 900.00	C\$ 13,267.45
Agua	Gal	1097.1	C\$ -	C\$ -
Acero de refuerzo	lb	5951.61		C\$ 167,002.18
Varilla #4 @ 4 in lado corto ASTM G-60	lb	2982.8	C\$ 28.06	C\$ 83,698.49
Varilla #4 @ 4 in lado largo ASTM G-60	lb	2968.8	C\$ 28.06	C\$ 83,303.69
Alambre de amarre	lb		C\$ 35.00	C\$ -
Paredes de concreto	m3	3.6	C\$ 26,115.59	C\$ 95,015.03
Concreto de 3000 PSI (1:2:3)	m3	3.6		C\$ 12,458.32
Cemento GU	bolsas	31.0	C\$ 280.00	C\$ 8,680.00
Arena	m3	1.7	C\$ 850.00	C\$ 1,453.48
Grava	m3	2.6	C\$ 900.00	C\$ 2,324.84
Agua	Gal	192.2	C\$ -	C\$ -
Acero de refuerzo	lb	2942.1		C\$ 82,556.71
Cara interna - vertical #5 @ 12 in Pared corta	lb	563.0	C\$ 28.06	C\$ 15,797.89
Cara externa - vertical #5 @ 12 in Pared corta	lb	563.0	C\$ 28.06	C\$ 15,797.89
Cara interna - horizontal #5 @ 12 in Pared corta	lb	36.3	C\$ 28.06	C\$ 1,019.22

Cara externa - horizontal #5 @ 12 in Pared corta	lb	36.3	C\$ 28.06	C\$ 1,019.22
Cara interna - vertical #5 @ 12 in Pared larga	lb	835.4	C\$ 28.06	C\$ 23,442.03
Cara externa - vertical #5 @ 12 in Pared larga	lb	835.4	C\$ 28.06	C\$ 23,442.03
Cara interna - horizontal #5 @ 12 in Pared larga	lb	36.3	C\$ 28.06	C\$ 1,019.22
Cara externa - horizontal #5 @ 12 in Pared larga	lb	36.3	C\$ 28.06	C\$ 1,019.22
Alambre de amarre	lb		C\$ 35.00	C\$ -
Tapas de hormigon armado para revision	m3	0.0756	C\$ 4,742.20	C\$ 358.51
Concreto de 3000 PSI (1:2:3)	m3	0.0756		C\$ 358.51
Cemento GU	bolsas	1.0	C\$ 280.00	C\$ 280.00
Arena	m3	0.0	C\$ 850.00	C\$ 30.20
Grava	m3	0.1	C\$ 900.00	C\$ 48.31
Agua	Gal	4.0	C\$ -	C\$ -
<b>Tuberias y accesorios</b>				<b>C\$ 646.49</b>
Tuberia pvc de 4"	ml	1.0	C\$ 200.46	C\$ 196.85
Tee pvc de 4"	und	2	C\$ 224.82	C\$ 449.64
<b>Relleno de grava para filtro</b>	<b>m3</b>			<b>C\$ 57,753.00</b>
Piedra volcanica de 9-15 cm Ø	m3	4.2	C\$ 900.00	C\$ 3,766.50
Grava de 1/2" Ø	m3	60.0	C\$ 900.00	C\$ 53,986.50
<b>Acabados</b>				<b>C\$ 4,391.12</b>
Repello Mortero 1:3	m <sup>3</sup>	0.2	C\$ 4,389.70	C\$ 1,064.72
Cemento tipo S	m <sup>3</sup>	3.0	C\$ 280.00	C\$ 840.00
Arena	m <sup>3</sup>	0.3	C\$ 850.00	C\$ 224.72
Agua	m <sup>3</sup>	12.8	C\$ -	C\$ -
Impermeabilizante (DryCoat)	m2	23.1	C\$ 144.00	C\$ 3,326.40
<b>Total</b>			<b>\$ 2,544.11</b>	<b>C\$ 78,867.44</b>

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla C-4 Presupuesto Biodigestor**

Biodigestor				
Etapas	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
Preliminares				C\$ 922.43
Limpieza del terreno	m2	15.7	C\$ 25.39	C\$ 398.12
Trazado y replanteo	m2	15.60	C\$ 33.61	C\$ 524.32
Movimiento de tierra				C\$ 4,739.37
Excavacion para el biofiltro	m3	16.0	C\$ 216.29	C\$ 3,460.64
Reconformacion del terreno	m3	0.0	C\$ 64.77	C\$ -
Relleno compactado con material mejorado	m3	0.0	C\$ 64.77	C\$ -
Desalojo de material	m3	16.0	C\$ 75.26	C\$ 1,204.16
Entibado de proteccion	m2	15.60	C\$ 4.78	C\$ 74.57
Obra civil				C\$ 328,180.00
Biodigestor ROTOPLAS	c/u	2	C\$ 164,090.00	C\$ 328,180.00
Tuberias y accesorios				C\$ 1,292.98
Tuberia pvc de 4"	ml	2.0	C\$ 200.46	C\$ 393.70
Tee pvc de 4"	c/u	4	C\$ 224.82	C\$ 899.28
Total			\$ 10,810.80	C\$ 335,134.78

**Fuente: Elaboración propia**

## **APENDICE D MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

Operar es hacer funcionar en forma correcta el sistema de alcantarillado y de tratamiento de aguas residuales a través de un trabajo permanente y responsable en las instalaciones y equipos, para tener un servicio constante, evitar la contaminación del ambiente y, sobre todo, asegurar la satisfacción de los usuarios. Si el sistema no funciona bien, los usuarios no estarán contentos y se rehusarán a dar mantenimiento a la planta de tratamiento. De esta manera se generará un círculo vicioso que terminará con la destrucción del sistema y la frustración de los beneficiados.

Por otra parte, es necesario que, una vez instalado el sistema de alcantarillado y su planta de tratamiento, el mayor número posible de habitantes de la población construya sus baños y se conecten a la red. Si el número de usuarios es reducido, el sistema no está siendo utilizado apropiadamente y se deteriorará.

Para operar un sistema de alcantarillado y su planta de tratamiento es necesario contar con los planos de construcción, los cuales deben ser entregados por la empresa constructora o el financiador a la institución. No tener los planos del sistema es cómo manejar un camión sin volante o caminar a ciegas.

### **Responsabilidad de los usuarios**

Los usuarios del sistema de alcantarillado tienen una gran parte de la responsabilidad en su operación y mantenimiento. A continuación, se presentan algunas recomendaciones que los responsables del sistema deben comunicar permanentemente a los usuarios:

- No debe utilizarse el sistema de alcantarillado sanitario para evacuar aguas de lluvia. Las aguas de lluvia arrastran partículas de arena que sedimentan en las tuberías y con el tiempo pueden obstruirlas (La fuerza de arrastre

mínima de diseño de las tuberías permite la auto limpieza de partículas de 2.0 mm).

- El sistema de desagüe de la cocina o los lugares donde se cocina y se lava enseres de cocina y comedor, debe contar con cámaras desgrasadoras que deben ser limpiadas cada cuatro meses. La grasa es otra de las sustancias cuya acumulación bloquea las tuberías de alcantarillado.
- Las tapas de las cámaras de inspección o cámaras desgrasadoras deben ser herméticas para evitar que ingresen aguas de lluvia o aguas de lavado de patios, que luego se acumulan y obstruyen las tuberías.
- Si existen pilas en los patios y un sistema de desagüe, deben construirse cámaras desarenadoras, antes del ingreso al sistema domiciliario.
- No deben arrojarse bolsas plásticas, pañales desechables, toallas higiénicas, papel periódico u objetos similares en los inodoros.
- Los usuarios deben verter, cada cuatro meses, agua hervida en su inodoro para disolver y eliminar residuos de grasa.

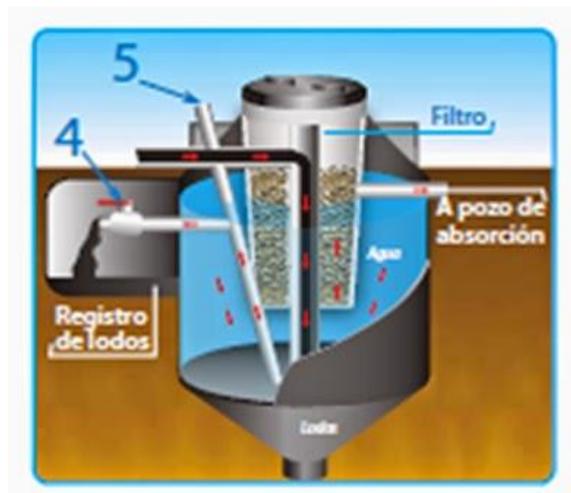
### **Construcción de conexiones domiciliarias**

- Las conexiones domiciliarias sólo podrán ser construidas por el operador del sistema o albañiles autorizados.
- Los escombros que se produzcan al picar la tubería cuando se construyan las conexiones domiciliarias, no deben quedar en el interior de la tubería.
- Debe tenerse cuidado al efectuar el empotramiento de la tubería de la conexión domiciliaria con la tubería del colector, pues a menudo se presentan filtraciones en dicho sector, o se introduce mortero al interior de la tubería.

### **Limpieza y Mantenimiento del Biodigestor**

Cada año, purgar exceso de lodos:

1. Abrir la válvula (#4) para que el lodo acumulado y digerido, fluya al registro de lodos. Utilizar guantes, botas y cubre boca para seguridad.
2. Una vez hecha la purga, cierre la válvula y manténgala así hasta el siguiente mantenimiento.
3. Los lodos son espesos y negros, esto tardará de 3 a 10 minutos. Si vuelve a salir lodo café, cierre la válvula, esto significa que ya salió todo el lodo digerido.



4. Si sale con dificultad o está obstruida, remueva el tapón (#5) y destape con un palo de escoba.
5. Mezclar los lodos extraídos con cal para desinfectar, al 10% (1 kg de cal por 10 kg de lodo). Después espolvorear con cal para evitar moscas.
6. Dejar secar de 1 hasta 3 meses. (Para acelerar el secado o en climas húmedos, se recomienda revolver cada mes y agregar una delgada capa de cal al final).

7. Los lodos se pueden tirar a la basura o se pueden poner en una zanja en el jardín como abono de plantas o mejorador de suelo y cubrirlos de pasto tomando en cuenta los siguientes 5 puntos:
8. Se desinfecta el lodo recién extraído del Biodigestor, utilizando suficiente cal.
9. No se debe reutilizar el lodo para hortalizas.
10. El lodo desinfectado aún tiene cierta cantidad de microorganismos; utilice protección personal y evite el contacto con los niños.
11. La opción del reúso del lodo es responsabilidad del usuario ya que depende de la eficiencia del método de desinfección y la aplicación que el usuario determine.

**Peligro:**

Adicionar cal en polvo al lodo extraído para eliminar los microorganismos. La cantidad de ambos depende del tamaño del Biodigestor y la frecuencia del mantenimiento.

**Advertencias:**

- No tire basura en la taza del baño (papel, toallas sanitarias ni otros sólidos), ya que se pueden obstruir los conductos.
- No descargar al Biodigestor sustancias químicas como: cloro, amoníaco, sosa, ácido, pintura, aceites y grasas de coche, ya que pueden reducir la efectividad del Biodigestor.

- No retire el plástico en la parte central del tanque, ya que éste es el material filtrante del Biodigestor.

El Biodigestor deberá estar siempre con agua hasta el nivel del tubo de salida. Si está completamente lleno o vacío, el producto no está operando adecuadamente y se le recomienda acudir inmediatamente a su instalador para su inspección.

- Mantenga bien tapado el Biodigestor.
- La garantía del buen funcionamiento del Biodigestor, depende del seguimiento de las indicaciones de instalación y mantenimiento indicadas en esta guía.

### **Limpieza del Tanque**

El Biodigestor cuenta con un material filtrante de plástico donde microorganismos se adhieren para limpiar el agua. El filtro debe ser limpiado cada 2 años o antes si es que se obstruye.

Para su mantenimiento, abra la válvula y purgue el lodo hasta bajar el nivel de agua. Retire el material que contiene el filtro.

Abra la tapa removiendo los tornillo o pijas y verifique el estado del filtro (\*Material flotante) en caso de estar obstruido con una escoba frote el filtro para remover sólidos acumulados. Se puede utilizar una manguera y chorro de agua para facilitar esa actividad. Limpie la cubeta dentro del tanque con una escoba. Regrese el material filtrante a la cubeta y tape nuevamente.

**Material flotante:** Una vez al año abra la tapa y remueva con un cedazo o pala las grasas y cualquier material flotante, para evitar obstrucción de tuberías o del pozo de absorción.

El material removido deberá ser mezclado con cal y dispuesto al relleno sanitario.

### **Operación y mantenimiento de un humedal horizontal**

Aunque pareciera que el humedal horizontal trabaja por sí mismo, requiere un mínimo de mantenimiento empezando por la recolección periódica de los restos vegetales como varas y hojas muertas, operación que debe practicarse cada quince días en el verano, y una vez al mes en el invierno. De no hacerse lo anterior los sólidos en pudrición podrían contribuir al azolvamiento del mismo. Con lo que respecta a la densidad de las plantas esta será según la especie; para el caso de carrizos (*Phragmites* spp.), se deberán mantener de 8 a 10 plantas /m<sup>2</sup>, para las espadañas o tule (*Typha* spp.), de 10 a 12 plantas, y para los juncos de 8 a 10 plantas /m<sup>2</sup>. La sobrepoblación de plantas puede llevar a que las raíces aprieten el medio y tapen los poros de las piedras. Por lo que concierne a las tuberías de desfogue para evitar inundaciones deben limpiarse en verano cada semana y en invierno cada quince días de hojas y varas, para evitar que el humedal pudiera inundarse y derramarse.

## APÉNDICE E. IMPACTO AMBIENTAL

Tabla E.1 Lista de impacto ambiental.

Alternativa 3. Biodigestor + Humedal horizontal				
Lista de Impacto Ambiental				
Componentes ambientales	Fases del proyecto		Acciones Impactantes	Observaciones
	Construcción	Operación		
<b>1. Aire</b>				
Contaminantes por partículas	Impacto Perjudicial	No hay impacto	Contaminacion de la atmosfera por particulas debido al movimiento de tierra, transporte de materiales, nivelacion , relleno y construccion.	Debido a la maquinaria usada para hacer el movimiento de tierra, se espera que los impactos sean pequeños debido al proyecto que tambien es de moderada magnitud.
Ruido	Impacto Perjudicial	No hay impacto	Debido a la maquinaria para la construccion que afectara la zona del proyecto.	
Emision de gases	Impacto Perjudicial	No hay impacto	Debido al uso de maquinaria pesada.	
Contaminantes por olores	No hay impacto	Impacto Perjudicial	La descomposicion de la materia organica provocara el desprendimiento de gases que generaran olores desagradables, no asi en el humedal horizontal .	
<b>2. Suelo</b>				
Modificacion de las características fisicoquímicas	Impacto Perjudicial	No hay impacto	Con la construccion se introducira material diferente al del terreno natural para adecuarlo para el proyecto.	

Contaminacion del suelo	Impacto Perjudicial	No hay impacto	La utilizacion de materiales de construccion originara residuos que pueden llegar a contaminar el suelo. Una vez en operacion el sistema de tratamiento podria tener deficiencias como fisuras que provocaria que el agua residual cruda se infiltre en el suelo y lo contamine, a menos que sea una estructura bien impermeabilizada.	
Erosion	Impacto Perjudicial	No hay impacto	Con el movimiento de tierra el suelo se encontrara en estado suelto lo que facilitara la erosion.	
<b>3. Agua</b>				
Contaminacion del agua subterranea	No hay impacto	No hay impacto	La construccion generaria residuos liquidos, y la deficiencia del sistema provocaria la infiltracion del agua residual en los mantos acuíferos y los contaminaria.	
Calidad del agua superficial	No hay impacto	Impacto Beneficioso	Descarga del efluente y limpieza del sistema de tratamiento, derrame de grasas, aceites y combustibles.	
<b>4. Biota</b>				
<b>Flora</b>				
Deforestacion	Impacto Perjudicial	Impacto Beneficioso	Desbroce en el area del sistema de tratamiento, eliminacion de la capa superficial, creacion de areas verdes, introduccion de especies ornamentales	Se introduciran especies de arboles frutales, ornamentales y de otras especies. Por lo que este factor sera positivame
Reforestacion	Impacto Perjudicial	Impacto Beneficioso		

				nte afectado.
Fauna				
Migracion de especies	Impacto Perjudicial	Impacto Beneficioso	Creacion de areas verdes	La fauna en el lugar es buena, se espera que mejore con la plantacion de mas arboles cercanos a la planta de tratamiento , tratando de no afectar su funcionamiento.
Perturbaciones	Impacto Perjudicial	Impacto Beneficioso	Infraestructura, creacion de areas verdes, emisiones de gases, olores y ruidos.	
5. Medio porceptual				
Estetica	Impacto Perjudicial	Impacto Beneficioso	La acumulacion de materiales de construccion en la zona del proyecto afectara la estetica del medio natural sin embargo, una vez el sistema operando es compatible con el medio natural.	La estetica del lugar, podria causar un panorama acogedor capaz de llamar la atencion de la poblacion ayudando al embellecimiento del paisaje.
6. Medio socioeconomico				
Estilo y calidad de vida	No hay impacto	Impacto Beneficioso	La recoleccion y disposicion de las aguas residuales a traves del sistema de tratamiento mejora las condiciones de vida de quines viven cerca del proyecto y de quienes hacen uso de las instalaciones	

Afectacion a la salud de trabajadores y poblacion	Impacto Perjudicial	No hay impacto	Con la emision de gases de las maquinarias, la generacion de ruido y de particulas en suspension se degrada la calidad del aire y provoca afectaciones a la salud de las personas.	
Empleo Temporal	Impacto Beneficioso	Impacto Beneficioso	En la etapa de la construccion se necesitara de trabajadores, originando fuente temporal de empleo a los trabajadores del sector.	
Empleo Fijo	No hay impacto	Impacto Beneficioso	Mantenimiento de sistema de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales.	

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla E.28 Matriz de Importancia de alternativa**

Matriz de Importancia de alternativa 3. Biodigestor + Biofiltro												
Componentes Ambientales	Etapa de Construccion						Etapa de Operacion					
	Intensidad	Extension	Momento	Persistencia	Reversibilidad	IMPORTANCIA	Intensidad	Extension	Momento	Persistencia	Reversibilidad	IMPORTANCIA
<b>1. Aire</b>												
Contaminantes por particulas	-3	-2	-3	-2	-1	-19						0
Ruido	-3	-1	-3	-2	-1	-17						0
Emision de gases	-2	-3	-4	-2	-1	-19						0
Contaminantes por olores						0	-1	-3	-5	-2	-5	-21
<b>2. Suelo</b>												
Modificacion de las características fisicoquimicas	-3	-2	-3	-2	-1	-19						0
Contaminacion del suelo	-2	-1	-3	-3	-3	-17						0
Erosion	-2	-3	-3	-2	-1	-18						0
<b>3. Agua</b>												
Contaminacion del agua subterranea						0						0
Calidad del agua superficial						0	5	3	3	3	5	32
<b>4. Biota</b>												
<b>Flora</b>												
Deforestacion	-1	-1	-3	-1	-1	-10						0
Reforestacion						0	1	3	4	1	3	17
<b>Fauna</b>												
Migracion de especies	-1	-1	-3	-1	-5	-14	2	1	3	5	5	21
Perturbaciones	-1	-2	-4	-1	-2	-14	1	2	3	2	3	15
<b>5. Medio Perceptual</b>												
Estetica	-3	-3	-1	-1	-1	-18	3	3	4	5	2	26
<b>6. Medio socioeconomico</b>												
Estilo y calidad de vida						0	3	3	3	5	4	27
Afectacion a la salud de trabajadores y a la poblacion	-2	-3	-5	-2	-1	-20						0
Empleo temporal	5	4	3	3	2	31	1	3	1	1	1	12
Empleo Fijo						0	5	2	1	5	4	29
<b>3+2E+M+P+R</b>												

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla E.39 Impactos en la etapa de construcción**

Orden de los Impactos en la Etapa de Construcción		
Orden de Impactos	Factor de Impacto	Importancia
1	Contaminantes por partículas	-19
2	Estética	-18
3	Ruido	-17
4	Emisión de Gases	-19
5	Modificación de las características físicoquímicas	-19
6	Erosión	-18
7	Contaminación del suelo	-17
8	Deforestación	-10
9	Migración de especies	-14
10	Perturbaciones	-14
11	Afectación a la salud de trabajadores y a la población	-20
12	Empleo temporal	31

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla E.40 Impactos en la etapa de operación**

Orden de los Impactos en la Etapa de Operación		
Orden de Impactos	Factor de Impacto	Importancia
1	Contaminantes por olores	-21
2	Calidad del agua superficial	32
3	Reforestación	17
4	Migración de especies	21
5	Perturbaciones	15
6	Estética	26
7	Estilo y calidad de vida	27
8	Empleo temporal	12
9	Empleo Fijo	29

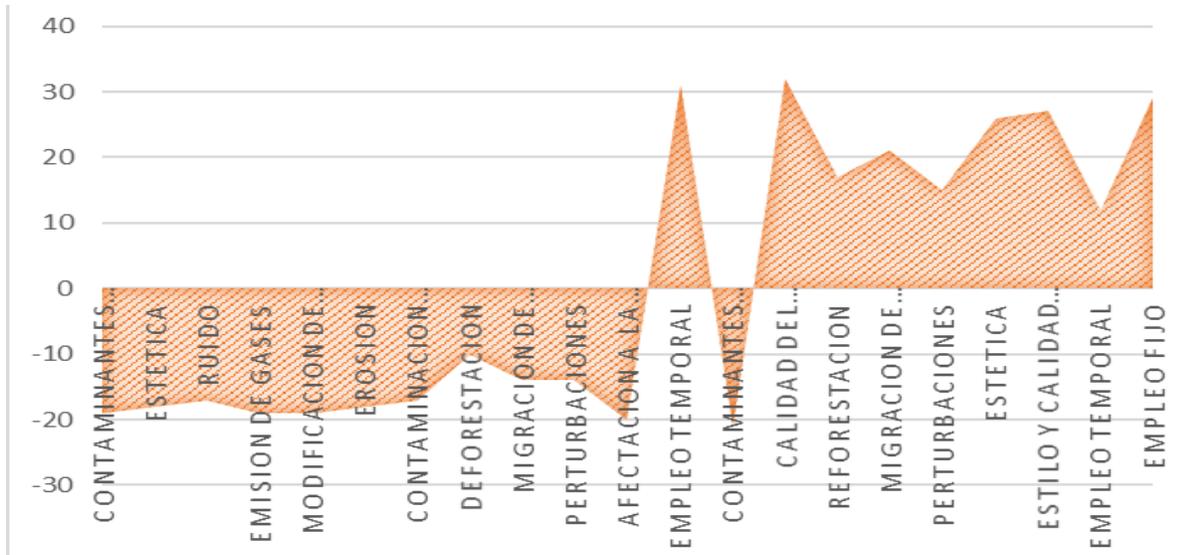
Fuente: Elaboración propia

Tabla E.51 Balance de datos

BALANCE DE DATOS		
1	Contaminantes por particulas	-19
2	Estetica	-18
	Ruido	-17
4	Emision de Gases	-19
5	Modificacion de las caracteristicas fisicoquimicas	-19
6	Erosion	-18
7	Contaminacion del suelo	-17
8	Deforestacion	-10
9	Migracion de especies	-14
10	Perturbaciones	-14
11	Afectacion a la salud de trabajadores y a la poblacion	-20
12	Empleo temporal	31
13	Contaminantes por olores	-21
14	Calidad del agua superficial	32
15	Reforestacion	17
16	Migracion de especies	21
17	Perturbaciones	15
18	Estetica	26
19	Estilo y calidad de vida	27
20	Empleo temporal	12
21	Empleo Fijo	29
	<b>IMPACTO</b>	4

Fuente: Elaboración propia

**Figura E-1. Gráfico del balance de datos**



**Fuente: Elaboración propia**