



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA  
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
MEDIANTE UN SISTEMA COMBINADO AEROBIO, ANAEROBIO,  
Y FITORREMEDIACIÓN PARA EL PROGRAMA PORCINO DEL  
IASA**

**AUTOR: CADENA CABASCANGO, LUIS MANUEL**

**DIRECTOR: ING. MASABANDA, MARCO, PHD**

**SANGOLQUÍ**

**2017**



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

### CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, ***“PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE UN SISTEMA COMBINADO AEROBIO, ANAEROBIO, Y FITORREMEDIACIÓN PARA EL PROGRAMA PORCINO DEL IASA”*** realizado por el señor ***LUIS MANUEL CADENA CABASCANGO***, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar al señor ***LUIS MANUEL CADENA CABASCANGO*** para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 01 de marzo de 2017

ING. MARCO MASABANDA PHD

DIRECTOR



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

### AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **LUIS MANUEL CADENA CABASCANGO**, con cédula de identidad N° 1722698550, declaro que este trabajo de titulación "**PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE UN SISTEMA COMBINADO AEROBIO, ANAEROBIO, Y FITORREMEDIACIÓN PARA EL PROGRAMA PORCINO DEL IASA**" ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 01 de marzo de 2017

Una firma manuscrita en tinta azul que parece ser 'Luis Manuel Cadena Cabascango'.

-----  
LUIS MANUEL CADENA CABASCANGO  
1722698550



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

### AUTORIZACIÓN

Yo, **LUIS MANUEL CADENA CABASCANGO**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE UN SISTEMA COMBINADO AEROBIO, ANAEROBIO, Y FITORREMEDIACIÓN PARA EL PROGRAMA PORCINO DEL IASA”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 01 de marzo de 2017

Una firma manuscrita en tinta azul que parece leerse "Luis Manuel Cadena Cabascango".

-----  
LUIS MANUEL CADENA CABASCANGO  
1722698550

## DEDICATORIA

### *A mis padres Raúl y Norma*

Por la paciencia, el amor y la confianza que me han brindado durante toda mi vida, y más aún en los momentos difíciles.

### *A mi tía Lidia*

Por ser una parte fundamental en mi vida y en el transcurso de mis estudios, apoyándome incondicionalmente.

### *A mis familiares*

Por nunca perder la confianza en mí a pesar de los tropezones a lo largo de este camino.

A mis hermanos y sobrinos en especial, porque siempre me apoyaron y animaron a seguir adelante.

### *A mis amigos*

Por ser parte fundamental de mi vida.

## AGRADECIMIENTO

### *A mi tutor*

Por la ayuda, la motivación y el seguimiento incondicional que me mostro durante el desarrollo de este trabajo.

### *A mis padres Raúl y Norma*

Ya que sin ellos no habría podido llegar a culminar mis estudios.

### *A mis amigos`*

A todos aquellos que colaboraron de otra manera durante la realización de este trabajo, en especial a Lenin, Diana, Enrique, Karen y a mi sobrina Romina.

## ÍNDICE

CERTIFICACIÓN.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	iii
AUTORIZACIÓN .....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
RESUMEN .....	x
ABSTRACT .....	xi
CAPÍTULO I.....	1
GENERALIDADES .....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes.....	2
1.3 Justificación e importancia .....	2
1.4 Objetivo general .....	5
1.4 Objetivos específicos .....	5
CAPITULO II.....	6
MARCO TEÓRICO .....	6
2.1 Definición aguas residuales .....	6
2.1.2 Origen de las aguas residuales y de los desechos .....	6
2.1.3 Aspectos de las aguas negras .....	7
2.1.4 Composición de las aguas residuales.....	8
2.1.5 Los sólidos de las aguas negras.....	8
2.1.6 Definición de los sólidos de las aguas residuales .....	8
2.1.7 Condición y composición de los sólidos contenidos en un agua residual .....	9

2.1.8 Composición biológica de las aguas residuales .....	10
2.1.9 Estado de las aguas negras .....	10
2.2 Normativa Ambiental .....	11
2.3 Tratamiento de las aguas negras .....	14
2.3.1 Disposición de las aguas negras.....	14
2.3.2 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....	15
2.3.3 Auto purificación.....	15
2.3.4 Tipos de zonas dentro de la auto purificación.....	16
2.3.5 Necesidad de tratar las aguas negras .....	16
2.3.6 Métodos de tratamiento de las aguas negras .....	17
2.3.7 Tipos de métodos de tratamiento .....	17
2.3.8 Tratamiento de los lodos .....	19
2.3.9 Unidades Compactas .....	19
2.4 Tanques Sépticos .....	20
2.4.1 Historia.....	20
2.4.2 Materiales de construcción .....	20
2.4.3 Funcionamiento y operación .....	20
2.4.4 Mantenimiento del tanque séptico .....	21
2.4.5 Inspección de rutina .....	21
2.4.5 Extracción de lodo del tanque séptico.....	21
2.5 Fitorremediación.....	21
2.5.1 La Synechocystis salina: .....	23
2.5.2 La Chlorella sp.....	24
2.5.3 Resultados.....	24
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>26</b>
<b>METODOLOGÍA Y TÉCNICAS A UTILIZAR.....</b>	<b>26</b>
3.1 Determinación de Caudales de Descarga .....	26
3.2 Dimensionamiento del canal colector.....	28
3.3 Dimensionamiento del tanque séptico .....	31
3.4 Dimensionamiento de los tanques de fitorremediación.....	33

CAPITULO IV .....	35
CARACTERIZACIÓN DEL SITIO .....	35
4.1 Levantamiento Topográfico .....	35
4.2 Estudio de suelo.....	38
4.3 Muestreo de Aguas Residuales.....	40
4.3.1 Preparación de recipientes.....	41
4.3.2 Llenado de recipientes.....	41
4.3.3 Refrigeración y congelación de las muestras.....	41
4.3.4 Identificación de muestras .....	41
4.3.5 Transporte de muestras.....	42
4.4 Caracterización de la Calidad del Agua.....	42
4.4.1 PH o acidez del agua .....	42
4.4.2 Oxígeno Disuelto.....	43
4.4.3 Sólidos suspendidos.....	45
4.4.4 Demanda química de oxígeno .....	46
4.4.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	47
4.4.6 Resultados de los análisis .....	48
CAPITULO V .....	51
DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.....	51
5.1 Diseño del canal colector.....	51
5.2 Diseño del tanque séptico .....	51
5.2.1 Cálculo de las cargas.....	53
5.2.2 Cálculo de esfuerzos .....	55
5.2.3 Diseño de los elementos del tanque .....	70
5.3 Diseño de los tanques de fitorremediación.....	83
5.4 Presupuesto.....	87
5.4.1 Precios Unitarios.....	87
5.4.2 Presupuesto .....	87
5.5 Elaboración de planos.....	88
CAPITULO VI.....	89

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	89
CONCLUSIONES .....	89
RECOMENDACIONES .....	90
BIBLIOGRAFÍA .....	91

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de la planta de tratamiento .....	2
Figura 2. Galpón de criadero porcino y canal de agua residual en el IASA .....	3
Figura 3. Descarga directa al río Santa Clara.....	3
Figura 4. Descarga directa de aguas residuales al río Santa Clara.....	4
Figura 5. Área para la ubicación de piscinas de remediación .....	4
Figura 6. Dimensiones del canal colector .....	31
Figura 7. Dimensiones mínimas de un tanque séptico (UNATSABAR, 2003).....	32
Figura 8. Dimensiones internas en planta y en corte del tanque séptico.....	33
Figura 9. Dimensiones de los tanques de fitorremediación .....	34
Figura 10. Ubicación del área del proyecto .....	37
Figura 11. Vista en planta de la ubicación del proyecto .....	37
Figura 12. Profundidad máxima de muestreo del suelo.....	38
Figura 13. Dimensiones del canal colector .....	51
Figura 14. Dimensiones internas del tanque séptico.....	52
Figura 15. Presión hidrostática actuante en las paredes del tanque .....	55
Figura 16. Presión del suelo actuante en las paredes del tanque.....	63
Figura 17. Elementos que conforman los tanques de fitorremediación .....	84
Figura 18. Vista en planta del tanque de fitorremediación .....	84
Figura 19. Presión hidrostática distribuida para cada elemento metálico del tanque .....	85
Figura 20. Sección transversal del elemento metálico .....	86

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Límites máximos de contaminación de las descargas a un cuerpo de agua dulce .....</i>	13
<b>Tabla 2</b> <i>Medición tiempos para cálculo del caudal de descarga de la sección de maternidad .....</i>	27
<b>Tabla 3</b> <i>Medición tiempos para cálculo del caudal de descarga de la sección de engorde .....</i>	27
<b>Tabla 4</b> <i>Resumen total del caudal de descarga .....</i>	28
<b>Tabla 5</b> <i>Valores empíricos para suelos granulares basados en el SPT .....</i>	40
<b>Tabla 6</b> <i>Resultados de los análisis aguas arriba de la descarga .....</i>	49
<b>Tabla 7</b> <i>Resultados de los análisis en la descarga de aguas residuales .....</i>	50
<b>Tabla 8</b> <i>Coeficientes de cortante del lado largo según la PCA .....</i>	56
<b>Tabla 9</b> <i>Coeficientes de momentos verticales del lado largo según la PCA .....</i>	57
<b>Tabla 10</b> <i>Momentos verticales del lado largo .....</i>	57
<b>Tabla 11</b> <i>Coeficientes de momentos horizontales del lado largo según la PCA .....</i>	58
<b>Tabla 12</b> <i>Momentos horizontales del lado largo .....</i>	59
<b>Tabla 13</b> <i>Coeficientes de cortante del lado corto según la PCA .....</i>	59
<b>Tabla 14</b> <i>Coeficientes de momentos verticales del lado corto según la PCA .....</i>	60
<b>Tabla 15</b> <i>Momentos verticales del lado corto .....</i>	61
<b>Tabla 16</b> <i>Coeficientes de momentos horizontales del lado corto según la PCA .....</i>	62
<b>Tabla 17</b> <i>Momentos horizontales del lado corto .....</i>	62
<b>Tabla 18</b> <i>Coeficientes de cortante del lado largo según la PCA .....</i>	63
<b>Tabla 19</b> <i>Coeficientes de momentos verticales del lado largo según la PCA .....</i>	65
<b>Tabla 20</b> <i>Momentos verticales del lado largo .....</i>	65
<b>Tabla 21</b> <i>Coeficientes de momentos horizontales del lado largo según la PCA .....</i>	66
<b>Tabla 22</b> <i>Momentos horizontales del lado largo .....</i>	66
<b>Tabla 23</b> <i>Coeficientes de cortante del lado corto según la PCA .....</i>	67
<b>Tabla 24</b> <i>Coeficientes de momentos verticales del lado corto según la PCA .....</i>	68
<b>Tabla 25</b> <i>Momentos verticales del lado corto según la PCA .....</i>	68
<b>Tabla 26</b> <i>Coeficientes de momentos horizontales del lado corto según la PCA .....</i>	69
<b>Tabla 27</b> <i>Momentos horizontales del lado corto .....</i>	70
<b>Tabla 28</b> <i>Resumen de los esfuerzos cortantes .....</i>	70

<b>Tabla 29</b> <i>Dimensiones de la sección transversal</i> .....	86
--	----

## **RESUMEN**

El presente proyecto trata del tratamiento de las aguas residuales provenientes de granjas porcinas. Debido a la falta de capacitación y de métodos económicos para el tratamiento de aguas residuales porcinas existe una gran cantidad de contaminación en los recursos hídricos de los sectores aledaños, ya que las aguas residuales son evacuadas directamente a los ríos, sin ningún tratamiento previo. El proyecto plantea la construcción de una planta de tratamiento relativamente económica que resulte beneficiosa para el sector agrícola, consiste en un tanque séptico para sedimentar las partículas y tanques de fitorremediación que contienen microalgas que en estudios realizados han dado resultados satisfactorios y que su uso resulta económico. Los elementos que constituyen la planta de tratamiento van a ser calculados en base a los diferentes estudios pertinentes del sector como lo son el estudio de suelos, la topografía, la caracterización de las aguas residuales, así como también el cálculo estructural del tanque séptico y de los tanques de fitorremediación se basarán en las normas vigentes.

### **PALABRAS CLAVE**

- **TANQUE SÉPTICO**
- **FITORREMEDIACIÓN**
- **MICROALGAS**
- **AGUA RESIDUAL**

## **ABSTRACT**

This project deals with the treatment of sewage from pig farms. Due to the lack of training and economic methods for the treatment of porcine wastewater there is a great deal of contamination in the water resources of the neighboring sectors, since the wastewater is evacuated directly to the rivers, without any previous treatment. The project proposes the construction of a relatively inexpensive treatment plant that is beneficial to the agricultural sector. It consists of a septic tank to sediment the particles and phytoremediation tanks containing microalgae that have been successfully tested and used economically. The elements that make up the treatment plant are to be calculated on the basis of the different relevant studies of the sector such as the study of soils, topography, the characterization of the waste water, as well as the structural calculation of the septic tank and phytoremediation tanks shall be based on current standards. The objective of this project is to train the producers of the sector to which it is directly affected so that they can apply this type of wastewater treatment and avoid the high degree of pollution in our water resources.

### **KEYWORDS**

- SEPTIC TANK
- PHYTOREMEDIATION
- MICROALGAE
- RESIDUAL WATER

# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES

### 1.1 Introducción

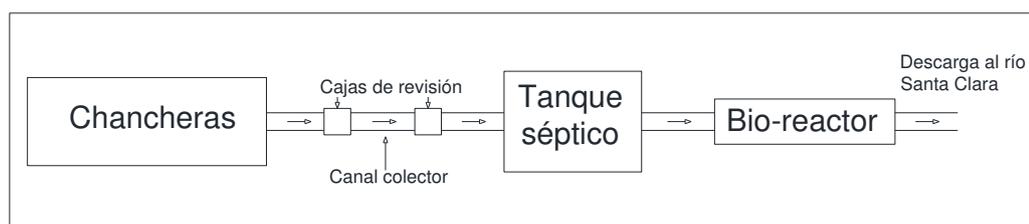
Las aguas negras se originan principalmente por la actividad y vida de una determinada población, estas pueden ser:

- a) Industriales
- b) Agrícolas
- c) Domesticas
- d) Agropecuarias

En el presente trabajo se encuentra enfocado principalmente en las aguas residuales agropecuarias, tomando en cuenta las actividades de limpieza que se realizan en el Proyecto Porcino de la Carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA 1, con el fin de realizar el diseño de la planta de tratamiento conformada por el tanque séptico y los biodigestores o tanques de fitorremediación con la utilización de micro algas andinas, para poder aportar conocimientos para el debido tratamiento de las aguas residuales de la población de la Parroquia San Fernando, Cantón Rumiñahui, tomando en cuenta que la población objetivo se dedica a labores de agricultura y ganadería, acuicultura, sin embargo la población del cantón Rumiñahui no posee áreas específicas de desposte (camal), a su vez no realizan una adecuada limpieza de las heces y orines por lo que las zonas urbanas e hídricas se ven directamente afectadas por la contaminación de granjas de diferente índole, ya que en su mayoría las aguas residuales producto de las actividades pecuarias son arrojadas directamente a los ríos sin ninguna clase de tratamiento, en nuestro caso específicamente al Río Santa Clara.

El proyecto plantea una planta de tratamiento basada en un canal colector que recoja las aguas residuales de los cuatro canales y los conduzca a un tanque séptico, de aquí los lixiviados serán llevados a dos piscinas donde se va a hacer una

fitorremediación, para después poder evacuar las aguas al río evitando la contaminación directa que se está dando en la actualidad, mientras que los residuos sólidos del tanque séptico se tiene pensado hacer una recolección cada 6 meses y llevarlos a un lecho de secado para su posterior uso como abono en la agricultura en las instalaciones del IASA. En la figura 6 se muestra un esquema de la infraestructura de la planta de tratamiento.



*Figura 1. Esquema de la planta de tratamiento*

## 1.2 Antecedentes

Unos de los objetivos del Plan Nacional del Buen Vivir es “Mejorar la calidad de vida de la población”, en la constitución en el artículo 66 dice que se tiene derecho a la vida digna que asegure, en uno de sus puntos, el saneamiento ambiental.

Este trabajo está anexo a un proyecto desarrollado por la Unidad de Vinculación con la Sociedad UVS de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

**Nombre del programa al que pertenece:** CAPACITACIÓN, TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA Y SERVICIOS A LA COMUNIDAD POR PARTE DE LAS CARRERAS DE CIENCIAS DE LA VIDA.

## 1.3 Justificación e importancia

Es de suma importancia realizar un proyecto de tratamiento de aguas residuales del programa porcino del IASA que son descargadas sin ningún tipo de tratamiento en el río Santa Clara. Según estudios realizados en el IASA el purín de cerdo lleva un contenido de nitrógeno amoniacal en el orden de 3000 a 5000 ppm, fósforo de 1000 a 3000 ppm, sodio de 1000 a 2000 ppm y materia orgánica en procesos de oxidación en el orden de 15000 a 25000 ppm para DBO5 y de 35000 a 60000 ppm en DQO,

según el Dr. Juan Ortiz Tirado, Director del Proyecto en el IASA. Por lo que se espera una reducción en el orden del 90% para nitrógeno y 85% para fósforo, además que se espera mejorar las condiciones ambientales para DBO5 y DQO (World Health Organization, UNESCO, & United Nations Environment Programme, 1996).

Se espera que con este estudio se obtenga los parámetros constructivos y económicos, necesarios para la implementación de este tipo de plantas de tratamiento para proyectos de criaderos de animales similares al que se lleva a cabo en el IASA.

En la Figura 2 se presenta la forma directa en que son conducidas las aguas residuales por un canal abierto, mientras que en la Figura 3 se presenta la descarga directa sin ningún tratamiento previo del caudal proveniente del galpón hacia el cuerpo receptor, es decir el río Santa Clara.



*Figura 2. Galpón de criadero porcino y canal de agua residual en el IASA*



*Figura 3. Descarga directa al río Santa Clara*

En la Figura 4 se aprecia uno de los cuatro canales provenientes del criadero porcino, en el cual se puede observar los desechos sólidos que de igual manera son enviados directamente al río. Por otro lado en la Figura 5 se presenta el área donde se tiene pensado ubicar las piscinas para el tratamiento del agua residual.



*Figura 4. Descarga directa de aguas residuales al río Santa Clara*



*Figura 5. Área para la ubicación de piscinas de remediación*

#### **1.4 Objetivo general**

Diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales mediante un sistema combinado aerobio, anaerobio y fitorremediación para disminuir el nivel de contaminación del río Santa Clara producido por el programa porcino del IASA.

#### **1.4 Objetivos específicos**

- a) Identificar las descargas
- b) Seleccionar las secciones de río aguas arriba y en la descarga
- c) Muestreo en las dos secciones
- d) Tabular los datos de los análisis
- e) Aforar caudales
- f) Determinar caudales de descarga
- g) Realizar el estudio de las características físicas y mecánicas de suelos
- h) Diseñar el canal colector de aguas residuales
- i) Diseñar el tratamiento primario (tanque séptico)
- j) Diseñar el reactor biológico (tanques de fitorremediación)

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Definición aguas residuales**

Aguas residuales también llamadas aguas negras, se refiere fundamentalmente a todas las aguas de los establecimientos de una determinada población después de haber sido contaminadas por diversos usos, que sean realizadas en dicha población. Su origen, es el resultado de la combinación de los líquidos o sólidos, procedentes de los domicilios, edificios e instituciones, junto con los provenientes de los establecimientos industriales, agrícolas, porcinos y bovinos, en los cuales desechan gran cantidad de purines (masa en estado líquido compuesta por orines y heces provenientes de los establecimientos en los que se encuentran los animales). Esto a su vez se mezclan con las aguas subterráneas, superficiales o de precipita que se puedan agregar en todo el transcurso de dichas aguas, por ende el volumen de estas pueden variar dependiendo de la población y de diversos factores, por ejemplo en el caso de una zona residencial con alcantarillas en las que no ingrese el agua de precipitaciones pluviales, produce alrededor de 160 litros por persona y por día mientras que en el caso de una zona industrial podrá producir unos 800 litros por persona y por día. Por ejemplo:

“La cantidad de excretas (heces + orina + agua) que se producen en una explotación porcina puede ser estimadas considerando que por cada 70kg de peso vivo en granja, se producen entre 4 y 5 Kg de excreta el promedio de producción de excretas en animales de engorde, puede ser hasta un décimo del peso vivo por día, lo que presentaría 1,36 kg de heces y 4,73 L de orina por día en promedio desde el destete hasta el peso al sacrificio.” (Perez, 2006)

#### **2.1.2 Origen de las aguas residuales y de los desechos**

Las aguas negras pueden ser originadas por:

- a) Desechos humanos y animales.
- b) Desperdicios caseros.
- c) Corrientes pluviales
- d) Desechos Industriales

*a) Desechos humanos y animales.* Son las descargas corporales que llegan a formar parte de las aguas residuales mediante los sistemas de alcantarillado y en cierto grado de los procedentes de los animales, que van a dar a las alcantarillas o simplemente a los ríos al realizar la limpieza de chanceras, corales, etc. Estos desechos son los más importantes, ya que influye en la salud pública ya que pueden contener organismos perjudiciales para la salud de la población, por esta razón su tratamiento es de vital importancia de una manera segura y eficaz, tomando en cuenta que debe cumplir todos los estándares de salubridad.

*b) Desperdicios caseros.* Procedentes de la manipulación del agua doméstica como; lavado de ropa, baño, desperdicio de cocina, limpieza personal, etc.

*c) Desechos industriales.* Se refiere a los desechos de los procesos industriales son parte importante de las aguas residuales de una población. Estos desechos en su mayoría son de la limpieza de las chanceras, corales, etc. Ya que en este sector en su mayoría se dedica a la crianza de ganado; vacuno, porcino, bovino, etc. Al no contar con lugares de desposte o a su vez sistemas de purificación de las aguas residuales de los establecimientos de crianza estos son directamente arrojados a los ríos.

### **2.1.3 Aspectos de las aguas negras**

Las aguas residuales son líquidos turbios que contienen materiales sólidos y líquidos que se han mezclado en el transcurso. “Cuando estas son frescas, su color es gris y su olor es parecido a moho. Flotan en ellas cantidades variables de materia: sustancias focales, trozos de alimentos, basura, papel, astillas y otros residuos de las actividades cotidianas de los habitantes de una comunidad.” (Departamento de

Sanidad del Estado de New York, 1990, p. 17) Ya que una población no realiza las mismas actividades todos los días.

#### **2.1.4 Composición de las aguas residuales**

La composición de las aguas residuales principalmente es de agua, más los sólidos disueltos en ella y los sólidos suspendidos en estas. La cantidad de sólidos por lo general es muy poca de manera que no supera el 0.1 por ciento en peso, sin embargo esta fracción es la que presenta más problema para su tratamiento y disposición adecuada.

Estos sólidos pueden estar disueltos, suspendidos o flotando.

#### **2.1.5 Los sólidos de las aguas negras**

Las aguas negras contienen una gran cantidad de residuos. Así, los sólidos de las aguas residuales pueden ser clasificados en dos grupos generales según su composición o su condición física (Departamento de Sanidad del Estado de New York, 1990, p. 18). De tal manera que existen: sólidos orgánicos e inorgánicos, estos sólidos pueden estar suspendidos y disueltos, los orgánicos son todos aquellos que tienen un origen vegetal o animal, entre ellos se encuentran las proteínas, carbono entre otros, mientras que los sólidos inorgánicos están compuestos en su mayoría de arena arcilla y metales.

#### **2.1.6 Definición de los sólidos de las aguas residuales**

Sólidos orgánicos. En general son de origen animal estos pueden ser de tipo vacuno porcino bobino o vegetal, estos incluyen los productos de desecho de la limpieza de los corales de dichos animales, la materia animal muerta, tejidos vegetales: pueden contener también compuestos orgánicos sintéticos. Como es el caso del carbono hidrogeno oxígeno. Estas están sujetas a degradación o

descomposición que se da por la actividad de las bacterias, entre otros organismos vivos, estos a su vez son combustibles y pueden ser quemados.

**Sólidos inorgánicos:** Son sustancias inertes que no pueden ser degradadas o descompuestas. Existen excepciones como los sulfatos, los cuales pueden descomponerse en sustancias más simples llamadas sales, estos por lo general no son combustibles.

La cantidad de sólidos sean orgánicos e inorgánicos, es conocida como su fuerza. A mayor concentración de sólidos orgánicos corresponde a más fuerza de las aguas residuales. De tal manera que se puede definir que las aguas residuales fuertes son las que contienen mayor cantidad de sólidos, estas conformadas en su mayoría por todos los sólidos estos se pueden encontrar en el fondo o flotando.

### **2.1.7 Condición y composición de los sólidos contenidos en un agua residual**

En las aguas residuales pueden existir varios tipos de sólidos.

***Sólidos suspendidos.*** Son aquellos que se encuentran suspendidos y que pueden ser perceptibles a simple vista en las aguas residuales, de manera más concreta se refiere a los sólidos que quedan retenidos por la capa filtrante, estos a su vez se pueden separar por medios físicos o mecánicos por ejemplo: el caso de la sedimentación y filtración, procesos en los que no se necesitan de químicos para poder ser realizados.

***Sólidos sedimentables.*** Se refiere a la porción de los sólidos suspendidos cuyo tamaño y peso sea suficiente para que logren sedimentarse aproximadamente en un promedio de una hora.

***Sólidos coloidales.*** Resultan de la diferencia entre los sólidos suspendidos totales y los sólidos suspendidos sedimentarios. En la actualidad no se ha logrado determinar una forma más sencilla para poder determinar de manera exacta la existencia de dichos sólidos.

**Sólidos disueltos.** Este término se emplea cuando se habla de aguas residuales sin embargo no está bien utilizado ya que los sólidos no se encuentran disueltos completamente. Ya que contienen alrededor de 90 por ciento disuelto y 10 por ciento de sólidos coloidales.

**Sólidos totales.** Como su nombre lo indica es el total de todos los sólidos de los que se encuentran compuestas todas las aguas residuales.

### **2.1.8 Composición biológica de las aguas residuales**

Las aguas residuales contienen un gran porcentaje de organismos vivos, los cuales la gran mayoría son bacterias, estos son de gran importancia para su tratamiento desde la degradación hasta la descomposición, se podría decir que estos son los trabajadores que emplea un operador de planta estos se dividen en dos tipos los cuales son:

**Bacterias parásitas.** Son también llamadas huésped ya habitan en otros organismos, esto ocurre ya que estas bacterias necesitan recibir el alimento ya procesado por otros organismos, Se pueden alojar tanto en el intestino de un humano como en un animal, en el proceso de digestión estas producen compuestos tóxicos los cuales se dirigen hacia las aguas residuales, por esta razón es de vital importancia el tratamiento de dichas aguas para evitar el contagio de enfermedades.

**Bacterias saprofitas.** Son aquellas que se alimentan de materia orgánica de manera a que ayudan a la descomposición de los sólidos orgánicos.

### **2.1.9 Estado de las aguas negras**

De acuerdo a la descomposición bacteriana de los sólidos suspendidos han dado origen a ciertos términos como:

*Aguas residuales frescas*: Como su nombre lo dice son todas las aguas residuales que se encuentran en su estado inicial, inmediatamente después de que todos los sólidos han sido agregados.

*Aguas negras sépticas*. Se refiere a todas las aguas residuales en las que se a extinto el oxígeno disuelto de manera.

*Aguas negras estabilizadas*. Son todas las aguas residuales en las que todos los sólidos se encuentran ya descompuestos, a su vez el oxígeno disuelto se encuentra presente nuevamente.

## **2.2 Normativa Ambiental**

El agua es un recurso no renovable por ende el Estado Ecuatoriano respalda el uso y conservación mediante artículos dentro de la Constitución del Ecuador como es el caso del artículo 73 de la Constitución de la República del Ecuador señala que :

“ El Estado aplicará medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales; y que se prohíbe la introducción de organismos y material orgánico e inorgánico que puedan alterar de manera definitiva el patrimonio genético nacional.” (Acuerdo Ministerial No. 028, 2015)

A su vez existe otro documento que respalda el uso de dicho recurso en el que ayuda a la regulación de su uso como es el caso de la Ley Orgánica De Recursos Hídricos Uso Y Aprovechamiento Del Agua dentro de esta encontramos el artículo 411 en que el establece:

“Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico y que regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, especialmente en las fuentes y zonas de recarga”. ( Ley Organica De Recursos Hidricos Uso Y Aprovechamiento Del Agua, 2014)

“Que, la Primera Disposición Transitoria de la Constitución de la República dispone que la Ley que regule los recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua, incluirá los permisos de uso y aprovechamiento, actuales y futuros, sus plazos, condiciones, mecanismos de revisión y auditoría para asegurar la formalización y la distribución equitativa de este patrimonio.” ( Ley Organica De Recursos Hidricos Uso Y Aprovechamiento Del Agua, 2014, p. 3)

“Dentro del límite de actuación, los municipios tendrán la facultad de definir las cargas máximas permisibles a los cuerpos receptores de los sujetos de control, como resultado del balance de masas para cumplir con los criterios de calidad para defensa de los usos asignados en condiciones de caudal crítico y cargas contaminantes futuras”. (Acuerdo Ministerial No. 028, 2015)

Estas cargas máximas serán aprobadas y validadas por la Autoridad Ambiental Nacional y estarán consignadas en los permisos de descarga.

“Si el sujeto de control es un municipio, este podrá proponer las cargas máximas permisibles para sus descargas, las cuales deben estar justificadas técnicamente; y serán revisadas y aprobadas por la Autoridad Ambiental Competente.” (Acuerdo Ministerial No. 028, 2015)

En la siguiente tabla (**ver tabla 1**) podemos observar los límites máximos de contaminación que puede existir dentro de las descargas de un cuerpo de agua dulce, como es el caso de un lago laguna y río etc. establecidos en el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador. Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua, 2015.

Dentro del Acuerdo Ministerial No. 28 en el que establece los parámetros que se debe cumplir en caso de las aguas residuales no cumplan con lo establecido en la tabla anteriormente tratada, en donde establece:

“Las aguas residuales que no cumplan, con los parámetros de descarga establecidos en esta Norma, deberán ser tratadas adecuadamente, sea cual fuere su origen: público o privado. Los sistemas de tratamiento deben contar con un plan de contingencias frente a cualquier situación que afecte su eficiencia.

Se prohíbe la descarga de residuos líquidos sin tratar hacia los cuerpos receptores, canales de conducción de agua a embalses, canales de riego o canales de drenaje pluvial, provenientes del lavado y/o mantenimiento de vehículos aéreos y terrestres, así como el de aplicadores manuales y aéreos, recipientes, empaques y envases que contengan o hayan contenido agroquímicos u otras sustancias tóxicas.” (Acuerdo Ministerial No. 028, 2015)

**Tabla 1**  
*Límites máximos de contaminación de las descargas a un cuerpo de agua dulce*

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sust. solubles en hexano	mg/l	30.0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5.0
Arsénico total	As	mg/l	0.1
Bario	Ba	mg/l	2.0
Boro Total	B	mg/l	2.0
Cadmio	Cd	mg/l	0.02
Cianuro total	CN <sup>-</sup>	mg/l	0.1
Cinc	Zn	mg/l	5.0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0.5
Cloroformo	Ext. carbón cloroformo ECC	mg/l	0.1
Cloruros	Cl <sup>-</sup>	mg/l	1,000
Cobre	Cu	mg/l	1.0
Cobalto	Co	mg/l	0.5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Color real <sup>1</sup>	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0.2
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5.0
Fluoruros	F	mg/l	5.0
Fósforo Total	P	mg/l	10.0
Hierro total	Fe	mg/l	10.0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20.0
Manganeso total	Mn	mg/l	2.0
Materia flotante	Visibles		Ausencia



Mercurio total	Hg	mg/l	0.005
Níquel	Ni	mg/l	2.0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30.0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50.0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados	mg/l	0.05
Organoclorados	totales		
Compuestos Organofosforados	Organofosforados	mg/l	0.1
Organofosforados	totales		
Plata	Ag	mg/l	0.1
Plomo	Pb	mg/l	0.2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0.1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1,600
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>- 2</sup>	mg/l	1000
Sulfuros	- 2 S	mg/l	0.5
Temperatura	oC		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0.5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1.0

---

<sup>1</sup> La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida

## 2.3 Tratamiento de las aguas negras

El tratamiento de las aguas negras se refiere al proceso por el cual los sólidos que dicho líquido contiene son separados parcialmente, haciendo que todos los sólidos orgánicos queden convertidos en sólidos minerales o en sólidos orgánicos estables. Todo esto depende del proceso de tratamiento que se emplee. Una vez terminado el proceso debe separar todos los sólidos y líquidos obtenidos.

### 2.3.1 Disposición de las aguas negras

Hay tres métodos que se deben seguir para llevar a cabo una disposición final

Disposición por irrigación. Consiste en derramar las aguas residuales sobre una superficie de terreno, este proceso se realiza mediante zanjas de regadío, una

pequeña parte se evapora y la otra se resume en la tierra a la vez suministra humedad, este proceso ayuda para la fertilidad del suelo.

Disposición subsuperficial. Este método consiste en hacer llegar las aguas residuales por debajo de la superficie, esto se realiza mediante excavaciones o enlozados, este método se aplica cuando las aguas residuales tienen muy poco volumen.

Disposición por dilución. Este método consiste en descargar todas las aguas residuales hacia un río o lago, sin embargo este método contamina mucho y su contaminación depende mucho del volumen de las aguas residuales.

### **2.3.2 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

Se refiere a la cantidad de oxígeno que se necesita para la oxidación aerobia biológica de los sólidos orgánicos de las aguas residuales, esto se determina mediante un análisis en un laboratorio en el cual se debe.

Medir el grado y la descomposición de todos los sólidos orgánicos.

Mediar la eficiencia de los diversos métodos y dispositivos que han sido utilizados en el proceso de tratamiento.

### **2.3.3 Auto purificación**

Se refiere al proceso en el que se descargan aguas residuales en una corriente, estas continúan la degradación y descomposición hasta que se completa el proceso, esto se debe a que una corriente que se encuentra contaminada tiende a regresar a su estado inicial esto se refiere a su estado antes de contaminarse.

Los organismos vivos se alimentan de sólidos, estos a su vez producen desechos los cuales sirven de alimento para otros y de esta manera puede continuar el proceso hasta que los sólidos se conviertan en sales inorgánicas, las cuales sirven de alimento para algas de durante su proceso estas producen oxígeno.

### **2.3.4 Tipos de zonas dentro de la auto purificación**

**Zona de degradación.** También conocida como zona de degradación. Se ubica inmediatamente abajo del punto de contaminación. Así, el oxígeno disminuye pero no se agota inmediatamente. La fauna acuática disminuye y queda limitada a aquellas especies capaces de sobrevivir en el agua que contiene relativamente poco oxígeno disuelto (Departamento de Sanidad del Estado de New York, 1990, pág. 34).

**Zona de descomposición.** De acuerdo a como se va agotando el oxígeno convierte en la zona de descomposición, en la cual da inicio a la descomposición anaeróbica también llamada putrefacción. Esto se da cuando el nivel de descarga es muy pequeño.

**Zona de descomposición.** En esta el agua se vuelve negra y como resultado se producen olores ofensivos como resultado de la descomposición de los sólidos orgánicos por los organismos anaeróbicos.

**Zona de recuperación.** En esta zona aparece el oxígeno disuelto en cantidades gradualmente mayores. Sigue habiendo microorganismos, pero en menor cantidad, a su vez continúa la sedimentación de los sólidos orgánicos.

**Zona de agua limpia.** Se ha consumado casi completamente la descomposición. En esta zona no se visibiliza sólidos flotantes y el agua es clara.

### **2.3.5 Necesidad de tratar las aguas negras**

El problema para disponer de las aguas negras radica principalmente debido al uso de aguas para recoger y arrastrar productos de desecho. De esta manera se estableció el primer método en el que consistía en depositar los desechos en una parte de tierra con el tiempo esto ocasionó olores fétidos

De ahí nace el desarrollo de retretes o letrinas enterradas.

Sin embargo a medida que la población crecía todos los métodos eran poco satisfactorios, de tal manera que se establecen los objetivos para tomar en consideración en el tratamiento de las aguas.

“Los objetivos que hay que tomar en consideración en el tratamiento de aguas negras incluye.

- a) La conservación de fuentes de abastecimiento de agua para el uso doméstico.
- b) La prevención de enfermedades
- c) La prevención de molestias
- d) El mantenimiento de agua limpias para el baño y otros propósitos recreativos.
- e) Mantener limpias las aguas que se usan para la propagación y supervivencia de los peces.
- f) Conservación del agua para usos industriales y agrícolas.
- g) La prevención del azolve de los canales navegables.” (Departamento de Sanidad del Estado de New York, 1990, pág. 37)

### **2.3.6 Métodos de tratamiento de las aguas negras**

El tratamiento de las aguas residuales se refiere al conjunto de métodos empleados antes de la descarga de las aguas residuales hacia las aguas superficiales, como el mejor empleo de las aguas puede variar desde para tomar o hasta para fines culinarios.

### **2.3.7 Tipos de métodos de tratamiento**

*Tratamiento preliminar.* Sirve para proteger el equipo de bombeo, estos dispositivos utilizados para el tratamiento preliminar están destinados a eliminar o separar los sólidos mayores flotantes, en este proceso se emplean dispositivos como:

- a) Rejas de barras o más finas.
- b) Desmenuzadores.
- c) Desarenadores
- d) Tanques de pre aeración

**Tratamiento primario.** En este tratamiento se separan o se eliminan una mayoría de los sólidos suspendidos en las aguas residuales, en este proceso se eliminan alrededor de 80 y 90% de sólidos suspendidos (Departamento de Sanidad del Estado de New York, 1990, p. 42), por lo general en este proceso se utilizan los siguientes dispositivos.

- a) Tanques sépticos
- b) Tanques de doble, como son los Imhoff y algunas otras unidades patentadas
- c) Tanques de sedimentación simple con eliminación mecánica de lodos.

En el caso de usar productos químicos, se emplean también.

- a) Unidades alimentadoras de reactivos.
- b) Mezcladores
- c) Floculadores

**Tratamiento secundario:** En este tipo de tratamiento se trata de eliminar la demanda biológica de oxígeno DBO, que es un proceso que se realiza naturalmente en los cuerpos receptores, pero en este tipo de tratamiento se lo realiza de manera más rápida. El resultado que se espera en este tipo de tratamiento es de una remoción de alrededor del 85% de la DBO. Por el contrario no se espera cantidades considerables de remoción de la demanda química de oxígeno DQO. (Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, 1990, p. 43). Entre estos tratamientos podemos mencionar:

- a) Filtros goteadores con anques de sedimentación secundario.
- b) Tanques de aireación
- c) Filtros e arena intermitentes
- d) Estanques de estabilización

### **Cloración**

En este método se aplica cloro a las aguas residuales con los siguientes propósitos.

- a) Desinfección o destrucción de organismos patógenos.

- b) Prevenir de la descomposición de las aguas residuales.
- c) Como auxiliar en la operación de la planta.
- d) Ajuste o abatimiento de la demanda bioquímica de oxígeno.

### **2.3.8 Tratamiento de los lodos**

Los lodos están constituidos por los sólidos que se eliminan en cada una de las unidades de tratamiento primario y secundario.

“Este tratamiento tiene dos objetivos, siendo el primero de éstos eliminar parcial o totalmente el agua que contiene los lodos, para disminuir su volumen en fuerte proporción y, en segundo lugar, para que se descompongan todos los sólidos orgánicos relativamente estables. Esto se logra con la combinación de dos o más de los métodos siguientes:

- a) Espesamiento
- b) Digestión, con o sin aplicación de color
- c) Secado en lechos de arena, cubiertos o descubiertos.
- d) Acondicionamiento con productos químicos
- e) Filtración
- f) Filtración al vacío
- g) Secado aplicando calor
- h) Incineración
- i) Oxidación húmeda
- j) Flotamiento con productos químicos y aire.
- k) Centrifugación. ” (Departamento de Sanidad del Estado de New York, 1990, pág. 44)

### **2.3.9 Unidades Compactas**

Las unidades compactas son todas las instalaciones que incluyen los mecanismos como a todos los recipientes prefabricados. Estas unidades compactas se han adaptado a prácticamente a todos los procesos de tratamiento.

## **2.4 Tanques Sépticos**

El objetivo principal de este tanque séptico es sedimentar por gravedad los sólidos contenidos en el agua a tratar, a través de la estabilización hidráulica. En el fondo del tanque se acumulan lodos los cuales deben ser removidos cada cierto tiempo. La eficacia de este sistema depende en gran parte del tiempo de retención del líquido así como de la remoción de los lodos, en algunos estudios se ha llegado a valores del 80% de remoción de sólidos con este tipo de tratamiento. (Majumder, 1960).

“El tanque séptico fue uno de los más antiguos dispositivos de tratamiento primario que se usaron. Está diseñado para mantener a las aguas negras a una velocidad muy baja y bajo condiciones anaerobias, por un periodo de 12 a 24 horas, durante el cual se efectúa una gran eliminación de sólidos sedimentable.” (Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York, 1990, pág. 53)

### **2.4.1 Historia**

Se remota alrededor de 1860 en Francia por Mouras, El nombre de tanque séptico se le atribuye a Donald Cameron, quien le dio el nombre por las condiciones y acciones sépticas que se desarrollan en el interior del tanque.

### **2.4.2 Materiales de construcción**

En la construcción de los tanques sépticos se usan materiales como el concreto o fibra de vidrio, aunque también se utilizan materiales como acero, madera de secuoya y polietileno para su adecuada construcción.

### **2.4.3 Funcionamiento y operación**

Las grasas, aceites y además materiales ligeros que tienden a acumularse en la superficie en donde se forma una capa flotante, a su vez en el fondo del tanque se

acumula lodo, este lodo está compuesto sobre todo de hilachas que provienen del lavado de prendas y de lignina.

#### **2.4.4 Mantenimiento del tanque séptico**

Ya que los tanques sépticos no se encuentran a la vista, es necesario realizar un adecuado mantenimiento de manera periódica, en las zonas que constan con red de alcantarillado tienen un sistema en el que no importa los materiales ni el volumen que van a los sistemas de alcantarillado por ende estos sistemas se ven afectados y a su vez se da la presencia de fallas creando varios riesgos para la salud del hombre.

#### **2.4.5 Inspección de rutina**

Las inspecciones de rutina de un tanque séptico se deben realizar de una a dos veces al año en la cual se debe tomar en cuenta cuatro puntos. 1) Revisión de la impermeabilidad del tanque 2) revisión del ingreso de aguas extrañas 3) revisión de los empaques 4) revisión de la acumulación de lodo y espuma. Ya que si no cumple con todos estos puntos puede causar varias fallas y se puede producir algunos riesgos para la salud del ser humano.

#### **2.4.5 Extracción de lodo del tanque séptico**

Se debe realizar la extracción del lodo ya que este contiene en su mayoría los sólidos no orgánicos, eso se realiza por medio de bombeo, esto para evitar a largo plazo una reducción en la capacidad volumétrica, esto se refiere a la capacidad para almacenar las aguas dicho tanque.

### **2.5 Fitorremediación**

La fitorremediación es una tecnología muy utilizada en la actualidad, la cual utiliza varias plantas en el caso del proyecto PLANTA DE TRATAMIENTO DE

AGUAS RESIDUALES MEDIANTE UN SISTEMA COMBINADO ANAEROBIO, Y FITROREMEDIACIÓN PARA EL PROGRAMA PORCINO DEL IASA se utilizará microalgas andinas tales como *Chorella*, *Scenedesmus*, ya que se ha comprobado de manera experimental en el laboratorio de Acuicultura de la ESPE para el tratamiento de purines de cerdo, en donde la remoción de nutrientes llega a un 90% para nitrógeno total y en un 85% por ciento para el fosforo, la utilización de dichas algas con el fin de degradar, extraer, remover, contener o inmovilizar varios contaminantes principalmente de las aguas residuales, esta alternativa es rentable, a su vez es uno de los métodos de tratamiento más utilizados en sitios de desechos peligrosos.

Muchos de las técnicas aplicadas en el proceso de fitorremediación incluyen la aplicación de información que ha sido adquirida durante años en la agricultura, silvicultura, y horticultura a los problemas ambientales.

La fitorremediación en este caso trata del uso de aquellas microalgas que poseen clorofila y pigmentos fotosintéticos, los cuales son capaces de realizar fotosíntesis oxigénica (Abalde, Fidago, Torres, & Herrero, 1995), nombrando a las microalgas eucariotas como potenciadoras en la realización de la fitorremediación, ya que se caracterizan por ser microorganismos unicelulares con un núcleo y todos los orgánulos propios de esta célula, se reproducen de 8 a 24 horas, dividiéndose en un ciclo de día y noche (Sournia, 1974).

Estas microalgas asimilan nitrógeno en forma de amonio y también en forma de nitrato, también son capaces de incorporar fosforo a su metabolismo por varias vías, el fosforo puede ser mineral u orgánico en el estiércol de cerdos de los cuales la forma soluble del ortofosfato es biológicamente disponible para las algas (Contreras, 1994).

Estas microalgas varían ya sea por sus condiciones de cultivo entablado la reducción del nitrógeno o fosforo en el cual se efectúa cambios en los factores físicos nombrando así a la presión osmótica, intensidad de radiación, densidad de población, crecimiento de luz u oscuridad, entre otros (Abalde, Fidago, Torres, & Herrero, 1995).

El uso de microalgas en la remoción de nutrientes es una alternativa factible para el tratamiento de aguas residuales porcinas, haciendo referencia en la utilización de *Chlorella* sp. y *Synechocystis* salina, ya que su visión es mejorar la calidad del efluente porcino a descargar, como también aprovechas los nutrientes desechados en el mismo, como potenciador del crecimiento microalgal puesto que se busca con el mismo eliminar nitrógeno y fosforo, viéndolo des de un punto de un tratamiento terciario (Pachacama Moreno, 2016).

Tomando así las ventajas desde la visión en relación a los sistemas convencionales físicos y químicos aprovechándolo como eficaz reciclado de nutrientes, también en la reducción de costos y la recuperación de nutrientes en forma de biomasa, empleada como: fertilizante, suplemento nutricional en animales y biocombustibles (Kim & Park, 2007)

Se busca así mejorar las descargas de las aguas residuales en porcinos en 1,26% m<sup>3</sup>/día del caudal (Barahona & Salas , 2013), tomando así la factibilidad del uso de microalgas en el tratamiento de aguas residuales porcinas, evaluándose el crecimiento de *Chlorella* sp. y *Synechocystis* salina, y la remoción de nitrógeno, fósforo, DBO<sub>5</sub> y DQO. Basándonos en su principal ideología de alternativa para disminuir la contaminación producida. (Pachacama Moreno, 2016)

### **2.5.1 La *Synechocystis* salina:**

“Es una microalga, que crece en forma de células esféricas o sub-esféricas, solitarias o comúnmente dos juntas”. (Jhon , Whitton, & Brook, 2002).

“La microalga *Synechocystis salina* que se utilizará en el presente proyecto, fue aislada de un efluente natural de mina de sal ubicada en Salinas de Bolívar, que se encuentra al noroeste de la provincia de Bolívar en el centro del Ecuador. La identificación, aislamiento y masificación de la microalga se realizó en los Laboratorios de Docencia de Biotecnología de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE”. (Pachacama Moreno, 2016).

### 2.5.2 La *Chlorella* sp.

“Es una microalga verde de forma redonda o elipsoidal, la cual crece en forma de células simples”. (Garofalo, 2011).

“La microalga *Chlorella* sp. que se utilizará en el presente proyecto de investigación, fue aislada de un efluente natural (río) ubicado en Papallacta al este de la ciudad de Quito, que se encuentra en la provincia de Napo - Ecuador. La identificación, aislamiento y masificación de la microalga se realizó en los Laboratorios de Docencia de Biotecnología de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE”. (Pachacama Moreno, 2016).

### 2.5.3 Resultados

Como resultado podemos tener en cuenta que el pre-tratamiento de aguas residuales porcinas efectuadas por fitorremediación de microalgas fue positivo para la esterilización, ya que se las características químicas del agua residual, en el cual el crecimiento celular de *Chlorella* sp. Fue superior al de *Synechocystis* salina. Cuales fueron capaces de adaptarse a las diversas concentraciones de purín; tomando así en cuenta: el parámetro amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), presentó altos porcentajes de remoción en todos los tratamientos, siendo *Chlorella* sp. y el consorcio microalgal, los que asimilaron en mayor proporción el nutriente, 92,69% y 89.62% y el orto-fosfato ( $\text{PO}_4^+$ ) del agua residual porcina fue eficientemente removido por el consorcio microalgal, seguido de *Synechocystis* salina, con porcentajes de remoción promedio de 75.41% y 63.46%. (Pachacama Moreno, 2016).

Como también los parámetros DQO y  $\text{DBO}_5$ , presentaron porcentajes de remoción similares, siendo el tratamiento con *Chlorella* sp, con mas eficiencia, seguido por el consorcio microalgal, con porcentajes promedio de 64% y 46% y también presentó una alta eficiencia de remoción de los contaminantes  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^+$ , DQO y  $\text{DBO}_5$ , en todas las concentraciones de purín determinándose así altos porcentajes de remoción de contaminantes ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^+$ , DQO y  $\text{DBO}_5$ ),

demostrando la factibilidad de tratamientos terciarios en aguas residuales mediante la aplicación de microalgas. (Pachacama Moreno, 2016).

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA Y TÉCNICAS A UTILIZAR

#### 3.1 Determinación de Caudales de Descarga

Para la determinación del caudal de descarga de las aguas residuales del proyecto porcino de la carrera de Ingeniería Agropecuaria IASA 1 se debe calcular el aforo volumétrico para los canales, en donde nos ayudará a determinar la cantidad de aguas residuales que son descargadas hacia el Río Santa Clara.

El aforo volumétrico consiste en tomar el tiempo que se demora en llenar un recipiente de un volumen conocido, para conocer el caudal con la formula  $Q = V/t$ .

Dónde:

Q: Caudal

V: Volumen

t: tiempo

En la siguiente tabla se muestra el promedio de tiempo de lavado por día y los segundos que se demora en llenar un balde de 10 litros con las aguas residuales que salen hacia el Río Santa Clara provenientes de la sección de maternidad del proyecto porcino, tomando en cuenta que se realiza la limpieza una vez al día.

Con estos datos se puede obtener el caudal de descarga de la sección de maternidad, si dividimos 10 litros para el tiempo en que se demora en llenar el balde, obtenemos el caudal de descarga al mismo debemos multiplicarlo por el tiempo que se demora en lavar dicha área, con lo cual se obtiene el caudal de descarga diario, lo cual se presenta en la siguiente tabla:

**Tabla 2***Medición tiempos para cálculo del caudal de descarga de la sección de maternidad*

	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
	24.61	14.61	20.80	18.12	19.23
	19.75	20.16	17.56	20.05	20.25
	25.68	17.01	18.50	17.40	18.32
	20.95	17.80	19.05	16.08	19.60
	27.60	20.38	15.80	19.04	15.84
	20.86	19.95	17.60	20.95	20.14
	19.91	20.73	17.06	23.35	16.34
	18.96	14.65	18.56	18.41	15.90
	13.86	20.22	23.60	22.45	14.90
	16.03		25.90	26.75	25.30
	25.86			14.05	24.65
	21.86				20.36
Promedio (seg)	21.33	18.39	19.44	19.70	19.24
Tiempo de lavado (min)	30.00	20.00	30.00	30.00	30.00
Caudal (l/seg)	0.47	0.54	0.51	0.51	0.52
Caudal (l/día)	843.98	652.53	925.78	913.92	935.75

Para la sección de engorde no se tiene acceso al canal de descarga, debido a esto para la determinación del caudal lo que se hizo es cronometrar el tiempo en que tardaba en llenarse un balde de 10 litros con el agua que se usa para la limpieza, es decir tomamos los tiempos directamente de la llave de donde se abastecía para la limpieza del área, como se puede apreciar en la siguiente tabla:

**Tabla 3***Medición tiempos para cálculo del caudal de descarga de la sección de engorde*

	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
	35.00	35.35	35.41	35.24	35.89
	35.00	34.27	36.37	36.23	36.56
	35.00	37.60	37.89	34.56	36.95
Promedio (seg)	35.00	35.74	36.42	35.68	37.24
Tiempo de lavado (min)	60.00	60.00	60	60	60
Caudal (l/seg)	0.29	0.28	0.27	0.28	0.27
Caudal (l/día)	1028.57	1007.27	988.47	1008.97	966.70

En la siguiente tabla se muestra el resumen del caudal del sector de maternidad y el caudal del sector con engorde de manera que se obtiene el caudal total de descarga de las aguas residuales hacia el Río Santa Clara.

**Tabla 4**  
*Resumen total del caudal de descarga*

	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
Caudal Maternidad (l/día)	843.98	652.53	925.78	913.92	935.75
Caudal Engorde (l/día)	1028.57	1007.27	988.47	1008.97	966.70
Caudal Total Descarga (l/día)	1872.55	1659.80	1914.25	1922.89	1902.46
(m <sup>3</sup> /seg)	1.87	1.66	1.91	1.92	1.90

### 3.2 Dimensionamiento del canal colector

Todo conducto en el que circula agua en el que tenga una superficie libre, dentro de ellos tenemos ríos, canales, acueductos entre otros conductos de agua que se encuentran descubiertos se clasifican como canales abiertos, a su vez también existen los canales cerrados que son los túneles, desagües, drenajes y alcantarillados subterráneos.

Los conductores que transportan agua a presión y aquellos en lo que circula la diferencia es en los primeros la corriente está cerrada totalmente y su sección transversal es fija mientras que los segundos no se encuentra cerrada en su totalidad por ende tienen la libertad de aumentar o disminuir la altura de agua. Los canales abiertos se construyen generalmente con una pendiente mientras que los conductos cerrados que trabajan a presión pueden situarse en cualquier línea.

#### *Características de la corriente en los canales abiertos*

Cuando una sección de un corriente de gasto o caudal es constante se dice que es una corriente estacionaria y si este cambia con el tiempo se dice que es una corriente no estacionaria, para lograr que una corriente se mantenga estacionaria el flujo que entra y sale se debe mantener constante.

Una corriente estacionaria en un canal abierto esta puede ser uniforme o no uniforme, se dice que es uniforme cuando las velocidades medidas con las mismas mientras que si las velocidades son distintas se dice que es una corriente no uniforme.

***Elementos de una sección transversal.***

“***El área (a)***, se refiere siempre a la sección trasversal de la corriente que conduce el canal.

***El perímetro mojado***, es la longitud de la línea de intersección del plano de la sección transversal con la superficie mojada del canal, es decir.

***El radio hidráulico (r = a/p)***, es el área dividida por el perímetro mojado

***La profundidad (D)***, si no se especifica otra cosa, se refiere a la profundidad máxima del agua en la sección trasversal.

***El ancho superior (T)***, es el término usado para designar el ancho de la sección transversal en la superficie del agua.” (King, pág. 239)

En las instalaciones del proyecto porcino del IASA 1, los canales de las derivaciones están construidas con dimensiones de 0.40m de ancho y 0.30m de alto, a excepción de la derivación proveniente del área de maternidad, por lo que en este caso se recomienda disminuir la sección debido a que la sección es muy grande para el caudal de descarga, motivo por el cual o existe flujo continuo del agua residual pudiéndose evidenciar el estancamiento de la misma.

Debido a que se tiene un caudal de descarga muy pequeño se van a utilizar las mismas dimensiones de los canales de las derivaciones para el canal colector y se van a utilizar la fórmula de Manning para la comprobación de la sección.

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$$

Dónde:

$$Q = \text{Caudal (m}^3/\text{s)}$$

$n = \text{Rugosidad}$

$A = \text{Área (m}^2\text{)}$

$R = \text{Radio hidráulico} = \text{Área de la sección húmeda} / \text{Perímetro mojado}$

$S = \text{Pendiente de la línea de agua (m/m)}$

Para obtener la máxima eficiencia hidráulica se tiene la siguiente fórmula:

$$\frac{b}{y} = 2 * \operatorname{tg} \left( \frac{\theta}{2} \right)$$

$$\frac{b}{y} = 2 * \operatorname{tg} \left( \frac{90}{2} \right) = 2$$

$$y = \frac{b}{2} = \frac{0.40m}{2} = 0.20m$$

Con esto el área y el radio hidráulico quedarían dados de la siguiente manera:

$$A = b * y = 0.40m * 0.20m = 0.08m^2$$

$$R = \frac{A}{b + 2y} = \frac{0.08m^2}{0.40m + 0.40m} = 0.10m$$

De esta manera el caudal quedaría dado por:

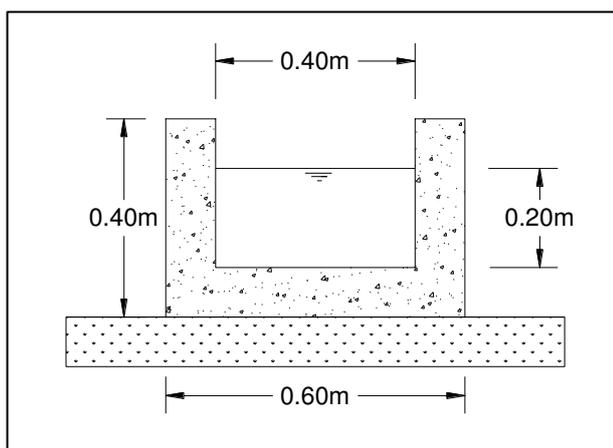
$$Q = \frac{1}{0.011} * 0.08m^2 * (0.10m)^{2/3} (0.01)^{1/2}$$

$$Q = 0.16m^3/s$$

El promedio de los caudales de descarga son de 0.51 l/s y 0.28 l/s correspondientes a la sección de maternidades y engorde respectivamente. Con lo cual tendríamos un caudal de descarga total de 0.79 l/s, el cual equivale a 0.00079 m<sup>3</sup>/s.

$$Q_{\text{descarga}} < Q_{\text{proporcionado}}$$

Por lo que podemos optar por asumir las dimensiones anteriormente señaladas para el canal colector las cuales se indican en la siguiente figura:



**Figura 6.** Dimensiones del canal colector

### 3.3 Dimensionamiento del tanque séptico

Se asume un caudal de  $2m^3/dia$ , y un tiempo de retención de 3 días o 72 horas, por lo cual el tanque debe ser dimensionado para un volumen de  $6 m^3$ .

Como recomendación se tiene que la relación largo – ancho no debe ser menor a 2:1, con estos antecedentes podemos asumir las siguientes dimensiones: **3.40m** de largo, **1.70m** de ancho y una altura de **1.04m**, con las que tendríamos un volumen de  $6.01m^3$ . Como se puede observar el valor de la altura no es un valor común y tampoco apropiado para la construcción del tanque, pero a continuación vamos a ver que la altura final varía debido a otros requerimientos.

El volumen mínimo de natas se considera como  $0.7 m^3$ , por lo cual la profundidad máxima de espuma sumergida está definida por la siguiente expresión, siendo  $A$  el área superficial del tanque.

$$He = \frac{\text{Volumen natas}}{A} = \frac{0.7m^3}{3.40m * 1.70m}$$

$$He = 0.12m$$

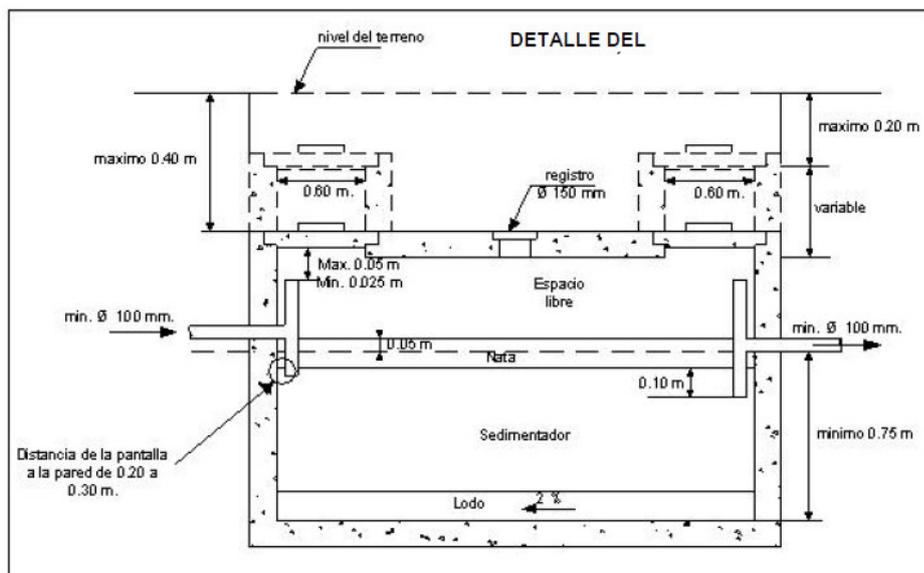
Además se debe considerar un espacio libre entre el nivel superior de natas y la parte inferior de la tapa que será mínimo de **0.30m**.

Con esto la altura total del tanque quedaría definida como:

$$ht = 1.04m + 0.12m + 0.30m = 1.46m$$

Por lo cual se asume una altura total del tanque de **1.50m**.

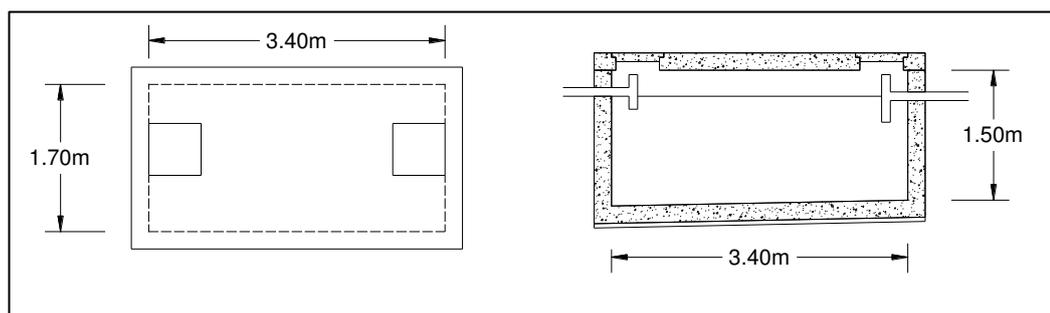
Además del dimensionamiento del tanque se deben tener en cuenta algunas recomendaciones, como las que se pueden observar en la siguiente figura.



**Figura 7.** Dimensiones mínimas de un tanque séptico (UNATSABAR, 2003)

- Las tuberías de entrada y salida del tanque deben tener un diámetro de mínimo 100mm.
- El nivel de la tubería de del tanque deberá ser colocado a 0.05m sobre el nivel de la tubería de salida.
- La tubería de entrada y salida del tanque deben considerar una ventilación con una luz libre máxima de 0.05m debajo de la losa de la tapa del tanque.
- El fondo del tanque debe tener una pendiente del 2% hacia la parte del ingreso de las aguas residuales.
- En la losa de la tapa del tanque se debe considerar tapas removibles y registros de inspección de 150mm.

En la siguiente figura se muestra las dimensiones para el tanque séptico:



**Figura 8.** Dimensiones internas en planta y en corte del tanque séptico

### 3.4 Dimensionamiento de los tanques de fitorremediación

Para los tanques de fitorremediación se debe tomar en cuenta que el tiempo estimado de funcionamiento para el tratamiento de las aguas residuales es de alrededor de 15 días por lo que se tiene planteado la instalación de 4 tanques superficiales.

Como habíamos determinado un caudal de  $2m^3/día$  quiere decir que en un mes el volumen de aguas residuales va a ser alrededor de  $60m^3$ , lo que quiere decir que cada tanque debe tener una capacidad de  $V = 15m^3$ . Al tratarse tanque circulares las dimensiones vendrían dadas de la siguiente manera, considerando que nos imponemos una altura de  $h = 0.80m$ .

$$V = A * h$$

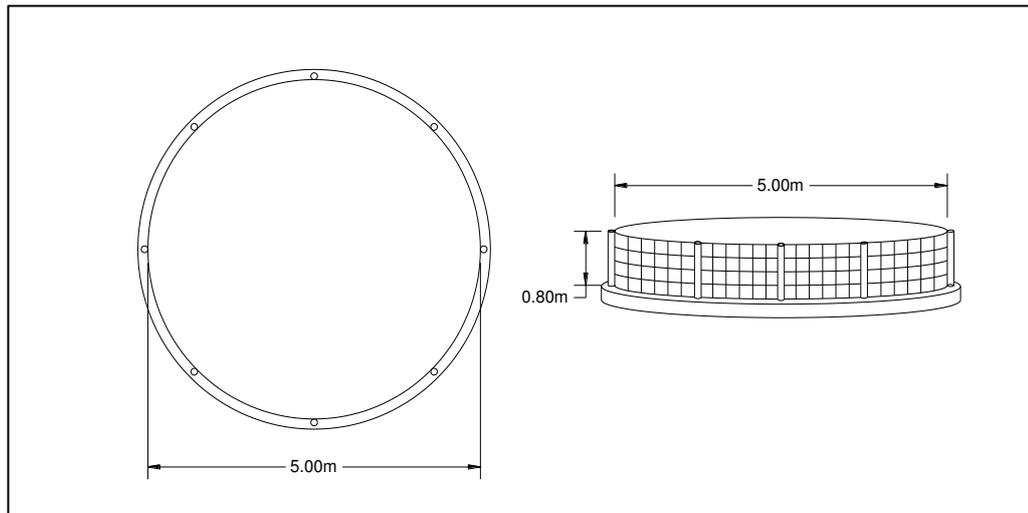
$$A = \frac{V}{h} = \frac{15m^3}{0.80m} = 18.75m^2$$

El área del tanque sería:

$$A = \pi * r^2$$

$$r = \sqrt{A/\pi} = \sqrt{18.75m^2/\pi} = 2.44m$$

Debido a que se debe tener una altura libre de líquido hasta el borde del tanque se considerara un radio  $r = 2.5m$ . En la figura que se presenta a continuación se muestran las dimensiones de cada tanque.



*Figura 9. Dimensiones de los tanques de fitorremediación*

## CAPITULO IV

### CARACTERIZACIÓN DEL SITIO

#### 4.1 Levantamiento Topográfico

La topografía se refiere a la ciencia, la tecnología y el arte de encontrar las posiciones relativas de puntos que se encuentran situados por encima de la superficie de la tierra, sin embargo estos puntos se pueden encontrar situados tanto encima como debajo de dicha superficie. De una manera más precisa podemos definir a la topografía como todos los métodos que se usan para medir, procesar y difundir datos o información sobre la tierra o el medio que nos rodea. En la actualidad podemos medir y observar la tierra de una manera más exacta y clara gracias a las tecnologías con las que contamos estas puede ser terrestre o aéreo. La topografía actual mente se utiliza para 6 cosas principalmente:

- a) Determinación de la forma de la Tierra y medición; esto con el fin de lograr establecer ya sea el tamaño, la posición.
- b) Localización de objetos en el espacio.
- c) Determinación de la localización de los limites terrestres públicos o privados
- d) Diseño, establecimiento, administración de la tierra; esto se realiza principalmente para la elaboración de planos.
- e) Estudio del medio ambiente; sea este natural o social, en donde se puede establecer los recursos terrestres y marítimos que cuenta el planeta o a su vez cada país.

#### *Tipos de levantamientos*

Entre los levantamientos más comunes tenemos los levantamientos geodésicos y planos. Los levantamientos planos en lo general se realizan con más exactitud. En el caso de los levantamientos geodésicos se utilizan fórmulas para su cálculo.

### ***Importancia de la topografía***

La importancia de la topografía nace desde tiempos remotos ya que es utilizada para el establecimiento de límites al momento de dividir terrenos, en la actualidad es la ciencia más utilizada ya que se utilizan para realizar construcciones y tener una guía concreta, o a su vez elaborar planos entre sus principales husos en la actualidad tenemos:

- a) Elaboración de mapas de la superficie terrestre; estos pueden estar sobre la superficie del mar o debajo de ella.
- b) Trazar cartas de navegación aérea, terrestre y marítima; En la que se utilizan puntos cardinales y coordenadas para una localización exacta.
- c) Deslindar propiedades; estas pueden ser públicas o privadas.
- d) Evaluar datos sobre la Tierra; como es el caso de la posición, gravedad, tamaño, entre otros.
- e) Evaluación de recursos; pueden ser recursos naturales o sociales.

La topografía en el ámbito de la construcción es de gran importancia ya que los ingenieros deben tener en conocimiento con exactitud los límites de las construcciones, ya que la precisión se necesita en los datos de campos.

### ***Sistemas de información terrestre y geográfica***

Dentro de los sistemas de información tenemos dos tipos los cuales son; Los sistemas Land Information Systems (LISs) y los sistemas de información geográfica, Geographic Information Systems (GISs), son nuevas áreas de actividad que en la actualidad se han presentado con mayor importancia dentro del ámbito de la topografía, dentro de estos sistemas se almacenan datos de mapas ya existentes o a su vez estos pueden ser naturales o culturales, dentro de todo el conjunto lo más común son las fotografías aéreas o satelitales, estadísticas, u otros datos que sean tabulados.

### ***Levantamiento topográfico del sitio***

El terreno se encuentra ubicado en la Hacienda El Prado, Parroquia San Fernando, Cantón Rumiñahui, Provincia de Pichincha, exactamente en el área de criaderos porcinos. El terreno donde se tiene proyectado instalar la planta de

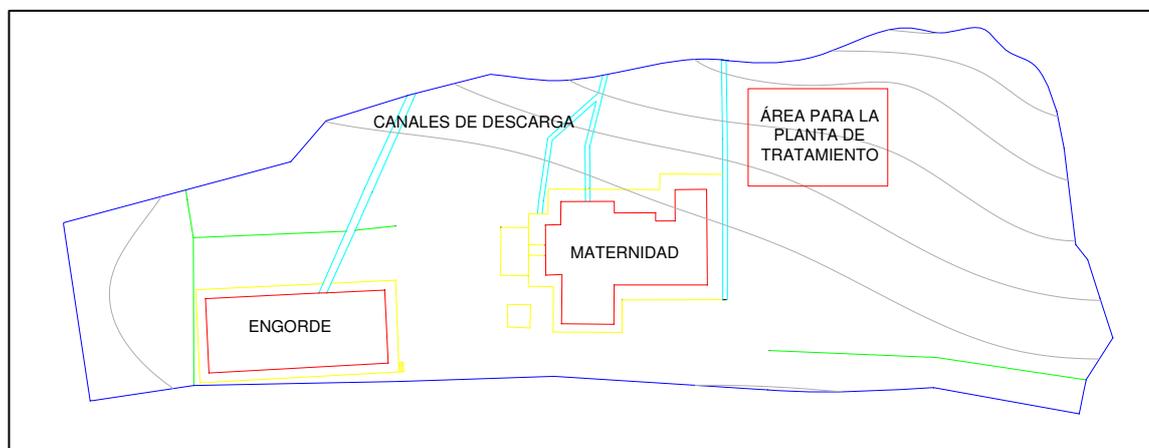
tratamiento consta de dos áreas la primera está dedicada al engorde de los animales mientras que la otra se encarga de la maternidad, las mismas que cuentan con sus propios canales de descarga directos hacia el río Santa Clara. En la figura que se muestra a continuación se presenta el terreno donde se va a realizar el proyecto además de las distintas instalaciones existentes.



**Figura 10.** Ubicación del área del proyecto

A continuación se muestra en la figura las instalaciones con las que cuenta el proyecto porcino.

El levantamiento topográfico se lo realizó con estación total, tomando en cuenta las instalaciones existentes así como los canales existentes de descarga de aguas residuales. En la figura que se presenta a continuación se muestra la topografía del sitio y sus respectivas instalaciones.



**Figura 11.** Vista en planta de la ubicación del proyecto

## 4.2 Estudio de suelo

Como primer método para obtener las características físicas y mecánicas del suelo se intentó realizar el Ensayo de Penetración Estándar SPT, pero al tratarse de un depósito rocoso no se pudo realizar el ensayo como podemos ver en la figura 9 solo se pudo llegar a una profundidad de 50 cm. Por lo que no se pudo tomar muestras del suelo a una profundidad mayor.



*Figura 12. Profundidad máxima de muestreo del suelo.*

Es por este motivo que se decidió, tomar un estudio realizado para una tesis de grado de la Universidad Central del Ecuador titulado “CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA – GEOTECNICA DEL SUR DE LA CIUDAD DE QUITO” desarrollado por Lucía Raquel Avilés Ponce, como trabajo previo a la obtención del título de Ingeniería Geóloga. En este trabajo básicamente se realiza una caracterización de los diferentes tipos de suelo encontrados en el sur de Quito, con lo cual se puede comparar con el tipo de suelo que se presenta en la ubicación de nuestro proyecto para así poder correlacionar las propiedades mecánicas de este tipo de suelo para poder usarlo en el cálculo estructural de los diferentes elementos que conforman la planta de tratamiento.

De acuerdo a este estudio nuestro tipo de suelo pertenece a los tipos de suelo coluviales.

“Los coluviales son depósitos de composición muy heterogénea conformados por materiales diversos, de tamaño fino a grueso, en los cuales predomina una matriz compuesta por arena limosa, incluyendo pómez, grava, cantos y también la presencia de grandes bloques, en algunos casos subredondeados a subangulares. Estos depósitos son de edad Cuaternaria a reciente y se localizan en los flancos y laderas, predominan en la cuenca del Río Grande”. (Avilés Ponce, 2013)

De acuerdo a esta zonificación geotécnica-geológica a nivel superficial los suelos coluviales pertenecen a la “ZONA I”, que el autor manifiesta “Zona Excelente, presenta excelentes condiciones del suelo para construcción, no se detectó la presencia de niveles freáticos, litológicamente corresponde a cangahuas, coluviales, aluviales, y zonas donde afloran las unidades de basamento como: Unidad Volcánica Atacazo, Unidad Volcánica Pichincha, y Volcánicos Indiferenciados. Se consideran materiales de buena competencia como soporte para cimentaciones; en su totalidad muy favorables para la construcción de viviendas, presentan buena a excelente capacidad portante, plasticidad baja a nula, bajo contenido de humedad, su excavación es fácil con maquinaria liviana; la estabilidad es buena y no hay evidencias actuales de zonas inestables en las laderas”. (Avilés Ponce, 2013).

De acuerdo a las características observadas en el campo nuestro tipo de suelo puede ubicarse en el grupo GW, los cuales tienen una resistencia a la penetración  $N=40$  y una capacidad portante mayor a las  $40 \text{ ton}/\text{m}^2$ . (Avilés Ponce, 2013).

De acuerdo a (Nij Patzán, 2009) se puede correlacionar el ángulo de fricción interna y el peso específico en función del número de golpes del ensayo SPT, de acuerdo a la **Tabla 5**.

De acuerdo a esta tabla el valor del ángulo de fricción interna para un suelo denso y grueso está entre un valor de  $40$  a  $50^\circ$ , mientras que el valor del peso específico se encuentra entre un valor de  $17$  a  $22 \text{ kN}/\text{m}^3$ , lo que quiere decir que está entre un valor de  $1733.52$  a  $2243.37 \text{ kg}/\text{m}^3$ . Con lo que mediante una interpolación podemos concluir que el tipo de suelo del presente estudio tiene las siguientes características:

$$\text{Ángulo de fricción interna } \phi = 47.37^\circ$$

$$\text{Peso específico } \gamma = 2109.2 \text{ kg/cm}^3$$

**Tabla 5**

*Valores empíricos para suelos granulares basados en el SPT*

Suelo	Dr	SPT N'70			$\phi^\circ$			$\gamma$ (natural o húmedo)	
		fino	medio	grueso	fino	medio	grueso	lb/pie <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>
	0.00								
Muy suelto		1-2	2-3	3-6	26-28	27-28	28-30	70-100	11-16
	0.15								
Suelto		3-6	4-7	5-9	26-30	30-32	30-34	90-115	14-16
	0.35								
Medio		7-15	8-20	10-25	30-34	32-36	33-40	110-130	17-20
	0.65								
Denso		16-30	21-40	26-45	33-38	36-42	40-50	110-140	17-22
	0.85								
Muy denso		??	>40	>45	<50			130-150	20-23

(Bowles , 1988)

### 4.3 Muestreo de Aguas Residuales

Para la obtención de las muestras del Río Santa Clara se tuvo que tomar en cuenta el manejo de cada una de las muestras.

Las aguas superficiales principalmente las aguas residuales son susceptibles a cambios en su estructura cuando existen cambios de temperatura, por ende se debe tener en cuenta el transporte de estas. Por ende se debe tomar en cuenta:

- a) El grado en el que se debe mantener las muestras.
- b) El tiempo en el que dicha muestra se va a mantener almacenada hasta el análisis.
- c) Verificar que los métodos de almacenamiento sean compatibles con los análisis que se van a realizar.

### **4.3.1 Preparación de recipientes**

Para el muestreo de aguas residuales es importante tomar en cuenta en qué tipo de recipientes no reaccionan dichas aguas:

- a) Verificar que el recipiente sea nuevo esto con el fin de reducir el índice de contaminación o existan organismos extraños que puedan alterar los resultados.
- b) En el caso de los recipientes de vidrio se deben lavar con agua y dejar para retirar todos los residuos de polvo que se puedan encontrar.

### **4.3.2 Llenado de recipientes.**

En el caso de las muestras obtenidas en el Río Santa Clara se debía realizar el análisis físico químico por ende los recipientes debían estar llenos por completo. Ya que esto ayuda a que no exista un espacio de aire y así ayudamos a que no se dé la fase gaseosa y ayudamos a que no exista agitación durante el transporte de las muestras.

### **4.3.3 Refrigeración y congelación de las muestras.**

Para evitar la alteración de la estructura de las muestras es aconsejable mantenerlas a una temperatura más baja de la que se recolectó. Por eso es útil transportar las muestras en un cooler con hielos, a su vez esto ayuda a que las muestras se mantengan en un lugar oscuro.

### **4.3.4 Identificación de muestras**

Para evitar errores en el laboratorio se debe:

- a) Marcar los recipientes de manera clara y permanente, esto para que se puedan identificar con facilidad. Cada recipiente debe contener.
  - Identificación de la muestra.

- Número de submuestra
- Fecha de recolección
- Hora de recolección
- Preservación
- Responsable
- Observaciones

#### **4.3.5 Transporte de muestras.**

Para el transporte de muestras es necesario:

- a) Mantener bien sellados los recipientes
- b) Obtener muestras en recipientes individuales.
- c) Transportar en un recipiente obscuro y a bajas temperaturas.
- d) No mantener mucho tiempo las muestras en ese estado.

### **4.4 Caracterización de la Calidad del Agua**

#### **4.4.1 PH o acidez del agua**

El pH es una variable importante en el momento de la evaluación de la calidad de agua ya que este influye en muchos procesos biológicos y químicos dentro de un cuerpo de agua y ayuda a la determinación del tratamiento adecuado de las aguas residuales. El pH es la medida del balance ácido de una solución y se define como un logaritmo negativo de base 10 de la concentración de ion hidrógeno. La escala del pH va desde 0 a 14, tomando en cuenta que en dichos rangos son alcalinas o acidas, sin embargo con pH 7 quiere decir que se encuentra en un estado neutro. La actividad de ion hidrógeno, indica la intensidad de la acidez o el carácter básico de una solución y es este es controlado por los compuestos químicos disueltos y procesos bioquímicos en la solución. En aguas no contaminadas, el pH es principalmente controlado por el equilibrio entre el dióxido de carbono, así como otras naturales compuestos tales como húmicos y ácidos fúlvicos, que ayudan al

equilibrio tomando en cuenta el ácido-base natural de un cuerpo de agua puede verse afectada por las descargas de aguas residuales sean estas industriales y deposición atmosférica de ácido formando sustancias. Cambios en el pH pueden indicar la presencia de ciertos efluentes, sobre todo cuando continuamente es medido y registrado, junto con la conductividad de un cuerpo de agua. De variaciones en el pH pueden ser causadas por los ciclos de fotosíntesis y respiración de algas en aguas eutróficas. El pH de las aguas más naturales es entre 6.0 y 8.5, aunque pueden presentar valores inferiores cuando el cuerpo de agua presenta alto contenido de materia orgánica y valores más altos en aguas eutróficas. (World Health Organization, UNESCO, & United Nations Environment Programme, 1996)

Acidez y la alcalinidad es la capacidad de neutralización de base y ácido (ANC) de agua y se expresan como  $\text{mmol l}^{-1}$ . Las aguas más naturales contienen los ácidos y bases, acidez y la alcalinidad se determinan generalmente así como de pH. La acidez del agua es controlada por ácidos minerales fuertes, ácidos débiles tales como carbónico, húmicos y fúlvicos, y sales de metales (hierro, aluminio, etc.), así como por ácidos fuertes. Es una valoración con una base fuerte, hasta pH 4 hablando de una acidez libre o a su vez de un pH 8,3 una acidez total. La alcalinidad del agua es controlada por la suma de las bases dosificable. Tomado como una indicación de la concentración de carbonato, bicarbonato e hidróxido, pero pueden incluir contribuciones de boratos, fosfatos, silicatos y otros compuestos básicos. (World Health Organization, UNESCO, & United Nations Environment Programme, 1996)

#### **4.4.2 Oxígeno Disuelto**

El oxígeno disuelto es necesario principalmente para todas las formas de vida acuática, incluyendo los organismos responsables de los procesos como es el caso de la purificación en las aguas naturales. El contenido en oxígeno de las aguas naturales varía de acuerdo a la temperatura, salinidad, turbulencia, la actividad fotosintética de las algas y las plantas y la presión atmosférica. La solubilidad del oxígeno disminuye de acuerdo a la temperatura y aumento de la salinidad. En las aguas no contaminadas contienen menos de  $10 \text{ mg l}^{-1}$  de oxígeno disuelto. Oxígeno disuelto puede

expresarse también en términos de porcentaje de saturación y niveles de menos de 80 por ciento de saturación en el agua potable puede ser detectada generalmente por los consumidores como resultado de mal olor y sabor. (World Health Organization, UNESCO, & United Nations Environment Programme, 1996)

Las variaciones en Oxígeno Disuelto pueden ocurrir por periodos o temporadas de incluso más de 24 horas, en relación con temperatura y actividad biológica refiriéndose a la fotosíntesis y la respiración. La respiración biológica, se encuentra relacionada con los procesos de descomposición, a su vez reduce las concentraciones de Oxígeno Disuelto. En aguas tranquilas, pueden existir altas y bajas concentraciones de oxígeno disuelto y estas pueden ocurrir dependiendo de los procesos biológicos. Los residuos altos en materia orgánica y nutriente pueden llevar a disminución de concentraciones de oxígeno disuelto, como resultado el aumento de la actividad microbiana, es el proceso de la respiración que ocurre durante la degradación de la materia. En casos graves de reducción las concentraciones de oxígeno ya sean estos naturales o artificiales, pueden ocurrir dependiendo de las condiciones anaeróbicas es decir, 0 mg l-1 de oxígeno, especialmente cerca del sedimento-agua interfaz como resultado de la descomposición, material de sedimentación. (World Health Organization, UNESCO, & United Nations Environment Programme, 1996)

Para la determinación de las concentraciones de Oxígeno Disuelto es una parte fundamental de la evaluación de calidad del agua se debe analizar desde el oxígeno ya que está involucrado, o influye, en casi todos los procesos químicos y biológicos dentro de un cuerpo de agua. Las concentraciones que se encuentran por debajo de 5 mg l-1, podrán afectar adversamente el funcionamiento y supervivencia de las comunidades biológicas y por debajo de 2 mg l-1 puede conducir a la muerte en su mayoría la de pescado. La medición de Oxígeno Disuelto puede utilizarse para indicar el grado de contaminación por orgánicos materia, la destrucción de las sustancias orgánicas y el nivel de purificación de la agua. Su determinación también se utiliza en la medición de demanda bioquímica de oxígeno (DBO). (World Health Organization, UNESCO, & United Nations Environment Programme, 1996)

Oxígeno disuelto es de uso mucho más limitado como indicador de contaminación en las aguas subterráneas, y no es útil para evaluar el uso de las aguas subterráneas para fines normales. (World Health Organization, UNESCO, & United Nations Environment Programme, 1996)

En la actualidad existen dos métodos principales para la determinación de oxígeno disuelto. El más viejo, método de titulación comúnmente llamado el método de Winkler, e cual consiste en la fijación química del oxígeno en una muestra de agua recogida en un frasco hermético. La fijación se lleva a cabo en el campo y el análisis por titulación, se lleva a cabo en el laboratorio. El método es laborioso pero puede dar un bajo grado de error. Es conveniente para la mayoría tipos de muestras de agua y permite ser tomadas y almacenadas. La alternativa membrana de electrodo, o sonda de oxígeno, el método es rápido y puede usarse en el sitio o para continuar con el control, aunque un alto grado de precisión puede ser difícil de mantener. (World Health Organization, UNESCO, & United Nations Environment Programme, 1996)

#### **4.4.3 Sólidos suspendidos**

Para la determinación de los sólidos suspendidos se aplica el proceso de evaporación de agua muestra y su posterior secado en un horno a una temperatura determinada, esto con el fin de obtener las sustancias que no han sido descompuestas por completo. Este es aproximadamente equivalente al contenido total de materia suspendida y disuelta en el agua, ya que la mitad de bicarbonato es el anión dominante en la mayoría de las aguas este se transforma en CO<sub>2</sub> durante este proceso. El término "sólidos" es ampliamente utilizado para la mayoría de los compuestos que son presentes en aguas naturales y permanecen en un estado sólido después de la evaporación, sin embargo en algunos casos los compuestos orgánicos permanecerán en estado líquido después de que el agua se ha evaporado. Total suspendido sólidos (SST) y sólidos totales disueltos (TDS) corresponden a filtrables y no filtrables residuo, respectivamente. "Sólidos fijos" y "sólidos volátiles" corresponden al resto después del secado en horno y a la pérdida después de secar en

horno a una temperatura determinada, respectivamente. (World Health Organization, UNESCO, & United Nations Environment Programme, 1996)

Las últimas dos determinaciones ahora con menos frecuencia se llevan a cabo.

La determinación de residuos se basa en la medición gravimétrica después de haber siguiendo los procedimientos apropiados, es decir, filtración, evaporación, el secado y la ignición.

#### **4.4.4 Demanda química de oxígeno**

La demanda química de oxígeno (DQO) es la medida del equivalente de oxígeno de la materia orgánica en una muestra de agua que es susceptible a la oxidación de una sustancia química fuerte oxidante, como el dicromato. El (DQO) es ampliamente utilizado como una medida de la susceptibilidad a la oxidación de los materiales orgánicos e inorgánicos presentes en los cuerpos de agua y en los efluentes de aguas residuales y plantas industriales. La prueba de (DQO) no es específica, ya que no se identifica el material oxidable o distingue entre el material orgánico y material inorgánico presente. Asimismo, no indica el carbono orgánico total presente puesto que algunos compuestos orgánicos no se oxidan por el método de dicromato. Sin embargo, el (DQO) es útil, rápidamente medido, variable para muchos residuos industriales y ha estado en uso durante varias décadas. (World Health Organization, UNESCO, & United Nations Environment Programme, 1996)

Las concentraciones de Demanda Química de Oxígeno que se observan en la superficie de las aguas van desde 20 mg l<sup>-1</sup> O<sub>2</sub> o menos cuando estas se encuentran sin contaminación a más de 200 mg l<sup>-1</sup> O<sub>2</sub> en aguas que reciban efluentes. Aguas residuales industriales pueden tener valores de DQO desde 100 mg l<sup>-1</sup> O<sub>2</sub> a 60.000 mg l<sup>-1</sup> O<sub>2</sub>. (World Health Organization, UNESCO, & United Nations Environment Programme, 1996)

Las muestras para el análisis de DQO deben ser recogidas en botellas que no suelten sustancias orgánicas en el agua, tales como botellas de cierre hermético de vidrio. Idealmente las muestras deben ser analizadas inmediatamente, o si sin

contaminación, dentro de las 24 horas, y estas deben ser almacenadas frías. Si el análisis no puede llevarse a cabo inmediatamente, las muestras deben conservarse con ácido sulfúrico. Para un almacenamiento prolongado las muestras deberían ser congeladas. Si procede, pueden filtrarse las muestras antes del análisis mediante filtros de fibra de vidrio. Las muestras sin filtrar que contienen sólidos sedimentables deben homogeneizarse antes de su muestreo. El método estándar para la medición de (DQO) es la oxidación de la muestra con dicromato de potasio en una solución de ácido sulfúrico, sin embargo se pueden utilizar otros oxidantes que pueden tener características de oxidación diferentes, seguido de una titulación. Es muy importante que el mismo método se siga cada vez durante una serie de medidas para que los resultados sean comparables. (World Health Organization, UNESCO, & United Nations Environment Programme, 1996)

#### **4.4.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno**

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una medida aproximada de la cantidad de materia orgánica bioquímicamente degradable presente en una muestra de agua. Esta se define por la cantidad de oxígeno necesario para que los microorganismos aeróbicos presentes en la muestra oxiden la materia orgánica a una forma inorgánica estable. El método está sujeto a varios factores como la demanda de oxígeno resultante de la respiración de las algas en la muestra y la posible oxidación de amoníaco (en caso que las bacterias nitrificantes se encuentren presentes). La presencia de sustancias tóxicas en una muestra puede afectar la actividad microbiana que conduce a una reducción en la DBO medida. Las condiciones en una botella tipo BOD que generalmente difieren de los afluentes de un río o un lago. Por lo tanto, resulta la interpretación de DBO y sus consecuencias deben hacerse con mucho cuidado y por personal experimentado. (World Health Organization, UNESCO, & United Nations Environment Programme, 1996)

Los procedimientos estandarizados de laboratorio que se utilizan para determinar las concentraciones de (DBO) por la medición de la cantidad de oxígeno consumido después de incubar la muestra en la oscuridad a una determinada

temperatura, generalmente a 20° C, durante un período específico de tiempo, generalmente cinco días. Esto da origen al término utilizado "DBO5". El consumo de oxígeno se determina de la diferencia entre las concentraciones de oxígeno disuelto en la muestra antes de y después de la incubación. Si la concentración de material orgánico en las muestras es muy alta, las muestras pueden requerir dilución con agua destilada antes de incubación para que el oxígeno no esté totalmente agotado. (World Health Organization, UNESCO, & United Nations Environment Programme, 1996)

Como se señaló anteriormente, las mediciones de DBO son generalmente más bajas que las mediciones de (DQO).

Aguas no contaminadas tienen valores de DBO de 2 mg l-1 O<sub>2</sub> o menos, mientras que los recibir aguas residuales puede tener valores de hasta 10 mg l-1 O<sub>2</sub> o más, especialmente cerca del punto de descarga de aguas residuales. Aguas residuales tiene una DBO de unos 600 mg l-1 O<sub>2</sub>, mientras que las aguas residuales tratadas efluentes tienen valores de DBO entre 20 y 100 mg l-1 O<sub>2</sub> dependiendo del nivel de tratamiento aplicado. Residuos industriales pueden tener valores de DBO a 25.000 mg l-1 O<sub>2</sub>. (World Health Organization, UNESCO, & United Nations Environment Programme, 1996)

Las muestras de agua recogieron para medición de DBO no debe contener cualquier agregado como es el caso de los conservantes y debe almacenarse en botellas de vidrio. Idealmente la muestra debe ser probada inmediatamente ya que cualquier forma de almacenamiento a temperatura ambiente puede producir cambios en la DBO, puede presentar un aumento o disminución dependiendo el carácter de la muestra, por tanto como 40 por ciento. Almacenamiento debe ser a 5° C y sólo cuando sea absolutamente necesario. (World Health Organization, UNESCO, & United Nations Environment Programme, 1996)

#### **4.4.6 Resultados de los análisis**

Las muestras fueron tomadas aguas arriba y en la descarga de aguas residuales del proyecto porcino del IASA. Fueron llevadas a ser analizadas en el Centro de

Servicios Ambientales y Químicos (CESAQ) de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Y fueron comparadas con el ANEXO 1 LIBRO VI TULSMA TABALA 9 LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE.

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos en las muestras tomadas aguas arriba.

**Tabla 6**  
*Resultados de los análisis aguas arriba de la descarga*

PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO	NORMA <sup>N1</sup>	OBSERVACIONES
<b>MICROBIOLOGIA</b>					
Coliformes Totales NMP	SM 9221 B / PT-DIS-MMA-006	NMP/100 mL	> 1600	NA	
<b>AGUAS Y SUELOS</b>					
Cromo Total	SM 3111 B / CP-PEE-A010	mg/L	< 0,30	NA	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	SM 5210 D / CP-PEE-A019	mg/L	7	100	CUMPLE
Demanda Química de Oxígeno	SM 5220 D / CP-PEE-A020	mg/L	22	200	CUMPLE
Material Flotante	SM 2530 B / CP-PEE-A030	N/A	Ausencia	AUSENCIA	CUMPLE
Oxígeno Disuelto	SM 4500-O G / CP-PEE-A003	mg/L	5.0	NA	
pH	SM 4500-H+ B / CP-PEE-A042	unid pH	8.0	6,0 – 9,0	CUMPLE
Sólidos Suspendidos	HACH 8006 / CP-PEE-A062	mg/L	< 50	130.0	CUMPLE
Sólidos Totales	SM 2540 B / CP-PEE-A063	mg/L	176	1600.0	CUMPLE
Nitratos UV-VIS	SM 4500 NO3 E / CP-PEE-A036	mg/L	< 5	NA	
Nitritos UV-VIS	SM 4500 NO2 / CP-PEE-A037	mg/L	0.036	NA	
Fosfatos (UV-VIS)	SM 4500 P B-C / CP-PEE-A007	mg/L	2	NA	

Mientras que en la **Tabla 7** se muestra los resultados obtenidos en las muestras tomadas en la descarga de las aguas residuales.



**Tabla 7**  
*Resultados de los análisis en la descarga de aguas residuales*

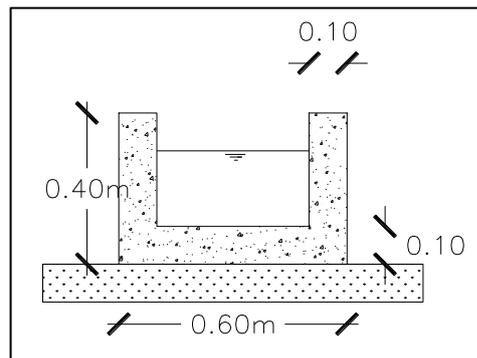
PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO	NORMA <sup>N1</sup>	OBSERVACIONES
<b>MICROBIOLOGIA</b>					
Coliformes Totales NMP	SM 9221 B / PT-DIS-MMA-006	NMP/100 mL	> 1600	NA	
<b>AGUAS Y SUELOS</b>					
Cromo Total	SM 3111 B / CP-PEE-A010	mg/L	< 0,30	NA	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	SM 5210 D / CP-PEE-A019	mg/L	148	100	NO CUMPLE
Demanda Química de Oxígeno	SM 5220 D / CP-PEE-A020	mg/L	218	200	NO CUMPLE
Material Flotante	SM 2530 B / CP-PEE-A030	N/A	Presencia	AUSENCIA	NO CUMPLE
Oxígeno Disuelto	SM 4500-O G / CP-PEE-A003	mg/L	3.6	NA	
pH	SM 4500-H+ B / CP-PEE-A042	unid pH	8.3	6,0 – 9,0	CUMPLE
Sólidos Suspendidos	HACH 8006 / CP-PEE-A062	mg/L	520	130	NO CUMPLE
Sólidos Totales	SM 2540 B / CP-PEE-A063	mg/L	586	1600.0	CUMPLE
Nitratos UV-VIS	SM 4500 NO3 E / CP-PEE-A036	mg/L	< 5	NA	
Nitritos UV-VIS	SM 4500 NO2 / CP-PEE-A037	mg/L	0.242	NA	
Fosfatos (UV-VIS)	SM 4500 P B-C / CP-PEE-A007	mg/L	15	NA	

Como podemos apreciar en las tablas en la correspondiente a las muestras tomadas aguas arriba se evidencia que los límites permisibles en la descarga según el TULSMA están cumpliendo, mientras que en la descarga de las aguas residuales producto de la limpieza de las instalaciones del proyecto porcino del IASA no cumplen los límites de descarga por lo que es necesario evidentemente un tratamiento previo a estas aguas residuales para poder descargas hacia el cuerpo de agua dulce que en este caso es el Rio Santa Clara.

## CAPITULO V

### DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

#### 5.1 Diseño del canal colector



*Figura 13. Dimensiones del canal colector*

Debido a que el canal colector no está afectado por cargas significativas se procede a colocar una armadura por temperatura es decir el mínimo y en forma de malla x su facilidad de armado.

$$As = \rho_{min} * bw * h$$

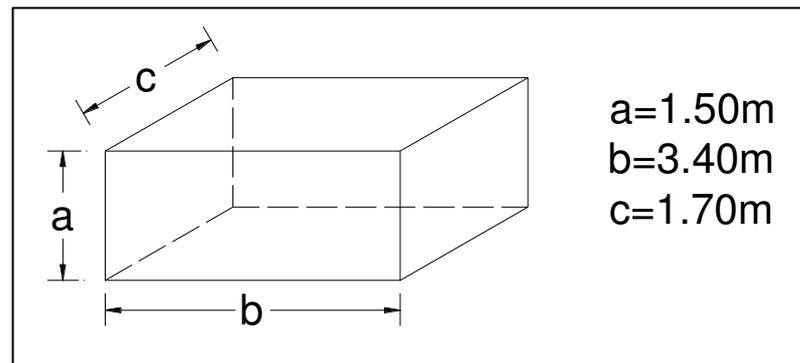
$$As = 0.0018 * 10cm * 40cm = 0.72cm^2$$

$$As_{colocado} = 4\phi 5mm = 0.784cm^2$$

Esto quiere decir que en una altura de 40 cm necesitamos 4 varillas de 5mm, y de la misma manera en el sentido transversal, por lo que usaremos una malla electro soldada 5mm de 15cm \* 15cm.

#### 5.2 Diseño del tanque séptico

El tanque séptico debe tener una capacidad de 6m<sup>3</sup>, de tal manera que las dimensiones adoptadas son 1.70m de ancho, 3.40m de largo y 1.50m de profundidad, medidas internamente.



**Figura 14.** Dimensiones internas del tanque séptico

Tanto las paredes como la tapa del tanque serán diseñadas con hormigón armado, de un espesor  $des = 20\text{cm}$ , el recubrimiento será de  $r = 8\text{cm}$ , la resistencia del hormigón es de  $f'c = 210\text{kg/cm}^2$ , el esfuerzo de fluencia del refuerzo de acero es de  $fy = 4200\text{kg/cm}^2$ .

Para el cálculo de los esfuerzos actuantes en las paredes del tanque serán considerados los siguientes parámetros, la densidad del agua  $\gamma_w = 1000\text{kg/cm}^3$ , la densidad del suelo es  $\gamma_s = 2109.24\text{kg/cm}^3$  y el ángulo de fricción interna del suelo es  $\phi = 47.37^\circ$ .

Las combinaciones de carga  $q$  se van a utilizar en el diseño fueron tomadas del ACI 350-06 9.2.1., y son las siguientes:

- 1)  $U = 1.4(D + F)$
- 2)  $U = 1.2(D + F) + 1.6(L + H)$
- 3)  $U = 1.2(D + F) + 1.6L$
- 4)  $U = 1.2D + 1.6H$

Dónde:

$D$ : Carga muerta

$L$ : Carga viva

$F$ : Carga generada por la acción de los fluidos

$H$ : Carga generada por la acción del suelo

## 5.2.1 Cálculo de las cargas.

### 5.2.1.1 Carga muerta.

El espesor de todos los elementos del tanque serán diseñados con un espesor de 20cm y con una densidad del hormigón de  $\gamma_{Ho} = 2400 \text{ kg/m}^3$ .

Peso propio de la tapa

$$PP(tapa) = \gamma_{Ho} * \text{espesor} * \text{ancho}$$

$$PP(tapa) = 2400 \text{ kg/m}^3 * 0.20 \text{ m} * 1 \text{ m}$$

$$\mathbf{PP(tapa) = 480 \text{ kg/m}}$$

Peso propio de las paredes

$$PP(tapa) = \gamma_{Ho} * \text{espesor} * \text{ancho}$$

$$PP(tapa) = 2400 \text{ kg/m}^3 * 0.20 \text{ m} * 1 \text{ m}$$

$$\mathbf{PP(tapa) = 480 \text{ kg/m}}$$

Peso propio de la base

$$PP(tapa) = \gamma_{Ho} * \text{espesor} * \text{ancho}$$

$$PP(tapa) = 2400 \text{ kg/m}^3 * 0.20 \text{ m} * 1 \text{ m}$$

$$\mathbf{PP(tapa) = 480 \text{ kg/m}}$$

### 5.2.1.2 Carga viva

Para la carga viva se ha considerado un valor de **200 kg/m<sup>2</sup>**.

### 5.2.1.3 Carga generada por el fluido

La presión hidrostática generada en el fondo del tanque será la siguiente:

$$P_w = \gamma_w * H$$

$$P_w = 1000 \text{ kg/m}^3 * 1.50\text{m}$$

$$P_w = 1500 \text{ kg/m}^2$$

#### 5.2.1.4 Carga generada por el suelo

La presión lateral ejercida por el suelo ha sido considerada en base a las características del suelo señaladas anteriormente, con las cuales el cálculo queda de la siguiente manera:

$$P = K_a * \gamma_s * H$$

Dónde:

$K_a$ : Coeficiente de presión del suelo

$\gamma_s$ : Densidad del suelo ( $\text{kg/m}^3$ )

$H$ : Altura del suelo (m)

La fórmula del coeficiente de presión de suelos  $K_a$  viene dada por la ecuación:

$$K_a = \frac{1 - \text{sen } \phi}{1 + \text{sen } \phi}$$

Dónde:

$\phi$ : Ángulo de fricción interna del suelo

$$K_a = \frac{1 - \text{sen } (47.37)}{1 + \text{sen } (47.37)}$$

$$K_a = 0.15$$

En el borde inferior de las paredes del tanque la presión ejercida por el suelo queda dada de la siguiente manera:

$$P = K_a * \gamma_s * H$$

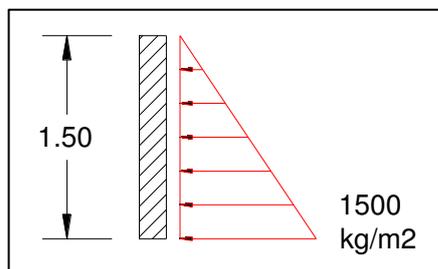
$$P = 0.15 * 2129.24 \text{ kg/m}^3 * 1.50\text{m}$$

$$P = 481.73 \text{ kg/m}^2$$

## 5.2.2 Cálculo de esfuerzos

### 5.2.2.1 Esfuerzos para la primera condición de carga

Esta condición corresponde a la situación en que el tanque está lleno de líquido y no se considera la presión externa ejercida por el suelo.



**Figura 15.** Presión hidrostática actuante en las paredes del tanque

Tomando en cuenta que el lado largo del tanque mide 3.40m y el lado corto 1.70m, las relaciones con respecto a la altura quedarían dadas de la siguiente manera:

$$\text{Relación lado largo/altura } (b/a) = 2.27$$

$$\text{Relación lado corto/altura } (c/a) = 1.13$$

Debido a que estos valores no se encuentran en las tablas de la PCA se toman los valores inmediatos superiores los cuales nos proporcionan una mayor seguridad al momento del diseño, con lo que los valores serían:

$$\text{Relación lado largo/altura } (b/a) = 2.5$$

$$\text{Relación lado corto/altura } (c/a) = 1.25$$

### *Cálculo de la pared correspondiente al lado largo*

De acuerdo con la tabla de la PCA que corresponde al CASO #4 y con respecto a las relaciones anteriormente mencionadas, los coeficientes de cortante son los siguientes:

**Tabla 8***Coefficientes de cortante del lado largo según la PCA*

Relación	b/a = 2.50
Borde inferior - punto medio	0.40
Borde lateral - máximo	0.26
Borde lateral - punto medio	0.26
Borde superior - punto medio	0.11

*Cortante en el borde inferior de la pared*

En la tabla anterior se puede observar que el coeficiente de cortante para el borde inferior del lado largo es  $C_s = 0.40$ .

$$V = C_s * q * a$$

$$V = 0.4 * 1500 \text{ kg/m} * 1.5\text{m}$$

$$V = 900 \text{ kg}$$

De acuerdo al ACI 350 el valor del cortante  $V$  debe ser mayorado x el coeficiente de 1.4, debido a las combinaciones de carga por fluidos.

$$V_u = 1.4 * V$$

$$V_u = 1.4 * 900 \text{ kg}$$

$$V_u = 1260 \text{ kg}$$

*Cortante en los bordes laterales de la pared*

$$V = C_s * q * a$$

$$V = 0.26 * 1500 \text{ kg/m} * 1.5\text{m}$$

$$V = 585 \text{ kg}$$

$$V_u = 1.4 * V = 1.4 * 585 \text{ kg}$$

$$V_u = 819 \text{ kg}$$

### *Cálculo de momentos verticales*

Para el cálculo de los momentos verticales generados en las paredes se deberá utilizar la fórmula de la PCA, de igual manera que en el caso de los cortantes se debe mayorar por 1.4 y además se deberá mayorar por 1.3 debido al coeficiente sanitario como indica el ACI 350.

$$Mux = 1.4 * coef. sanitario * Coef.* q * \frac{a^2}{1000}$$

$$Mux = 1.4 * 1.3 * Coef.* 1500 * \frac{1.5^2}{1000}$$

$$Mux = 6.14 * Coef.$$

**Tabla 9**

*Coefficientes de momentos verticales del lado largo según la PCA*

	Esquina	0.1b 0.9b	0.2b 0.8b	0.3b 0.7b	0.4b 0.6b	0.5b
Borde Superior	0	0	0	0	0	0
0,9a	-2	2	5	8	9	9
0,8a	-4	4	11	15	17	18
0,7a	-6	5	15	21	23	24
0,6a	-7	7	18	24	27	28
0,5a	-7	7	19	25	28	28
0,4a	-7	7	17	22	23	24
0,3a	-6	6	11	13	13	13
0,2a	-4	1	0	-2	-4	-4
0,1a	-1	-8	-19	-6	-29	-30
Borde Inferior	0	-25	-49	-60	-64	-65

**Tabla 10**

*Momentos verticales del lado largo*

	Esquina	0.1b 0.9b	0.2b 0.8b	0.3b 0.7b	0.4b 0.6b	0.5b
Borde Superior	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0,9a	-12.29	12.29	30.71	49.14	55.28	55.28
0,8a	-24.57	24.57	67.57	92.14	104.42	110.57
0,7a	-36.86	30.71	92.14	128.99	141.28	147.42
0,6a	-43.00	43.00	110.57	147.42	165.85	171.99
0,5a	-43.00	43.00	116.71	153.56	171.99	171.99
0,4a	-43.00	43.00	104.42	135.14	141.28	147.42
0,3a	-36.86	36.86	67.57	79.85	79.85	79.85



0,2a	-24.57	6.14	0.00	-12.29	-24.57	-24.57
0,1a	-6.14	-49.14	-116.71	-36.86	-178.13	-184.28
Borde Inferior	0.00	-153.56	-300.98	-368.55	-393.12	-399.26

El mayor valor es  $Mux(-) = -399.26 \text{ kg} * \text{m}$

#### *Cálculo de momentos horizontales*

Como en el caso de los momentos verticales, para la determinación de los momentos horizontales se debe usar la fórmula proporcionada por la PCA, la misma que debe ser mayorada por 1.4 y 1.3 que corresponden al coeficiente de las combinaciones y el coeficiente sanitario respectivamente.

$$Muy = 1.4 * coef. sanitario * Coef.* q * \frac{a^2}{1000}$$

$$Muy = 1.4 * 1.3 * Coef.* 1500 * \frac{1.5^2}{1000}$$

$$Muy = 6.14 * Coef.$$

**Tabla 11**

*Coefficientes de momentos horizontales del lado largo según la PCA*

	Esquina	0.1b 0.9b	0.2b 0.8b	0.3b 0.7b	0.4b 0.6b	0.5b
Borde Superior	0	0	0	0	0	0
0,9a	-11	0	3	3	3	3
0,8a	-21	0	5	6	5	5
0,7a	-29	0	7	8	7	7
0,6a	-35	0	9	9	8	8
0,5a	-37	1	9	9	8	8
0,4a	-35	2	8	8	7	6
0,3a	-29	2	6	5	4	4
0,2a	-18	1	2	1	0	0
0,1a	-6	-1	-3	-5	-6	-6
Borde Inferior	0	-5	-10	-12	-13	-13

**Tabla 12**  
*Momentos horizontales del lado largo*

	Esquina	0.1b 0.9b	0.2b 0.8b	0,3b 0.7b	0.4b 0.6b	0.5b
Borde Superior	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0,9a	-67.57	0.00	18.43	18.43	18.43	18.43
0,8a	-128.99	0.00	30.71	36.86	30.71	30.71
0,7a	-178.13	0.00	43.00	49.14	43.00	43.00
0,6a	-214.99	0.00	55.28	55.28	49.14	49.14
0,5a	-227.27	6.14	55.28	55.28	49.14	49.14
0,4a	-214.99	12.29	49.14	49.14	43.00	36.86
0,3a	-178.13	12.29	36.86	30.71	24.57	24.57
0,2a	-110.57	6.14	12.29	6.14	0.00	0.00
0,1a	-36.86	-6.14	-18.43	-30.71	-36.86	-36.86
Borde Inferior	0.00	-30.71	-61.43	-73.71	-79.85	-79.85

El mayor valor es **Muy(-) = -227.27 kg \* m**

*Cálculo de la pared correspondiente al lado corto*

Como se indicó anteriormente la relación del lado largo con respecto al lado corto es  $c/a = 1.25$ .

Los coeficientes de cortante corresponden al CASO #4 de la PCA.

**Tabla 13**  
*Coefficientes de cortante del lado corto según la PCA*

Relación	$c/a = 1.25$
Borde inferior - punto medio	0.36
Borde lateral - máximo	0.25
Borde lateral - punto medio	0.25
Borde superior - punto medio	0.09

*Cortante en el borde inferior de la pared*

$$V = Cs * q * a$$

$$V = 0.36 * 1500 \text{ kg/m} * 1.5\text{m}$$

$$V = 810 \text{ kg}$$

El valor del cortante debe ser mayorado por 1.4 como lo indica el ACI 350 para las combinaciones de carga.

$$Vu = 1.4 * V$$

$$Vu = 1.4 * 810 \text{ kg}$$

$$Vu = 1134 \text{ kg}$$

*Cortante en los bordes laterales de la pared*

$$V = Cs * q * a$$

$$V = 0.25 * 1500 \text{ kg/m} * 1.5\text{m}$$

$$V = 562.5 \text{ kg}$$

$$Vu = 1.4 * V = 1.4 * 562.5 \text{ kg}$$

$$Vu = 787.5 \text{ kg}$$

*Cálculo de momentos verticales*

Para el cálculo de los momentos verticales generados en las paredes se deberá utilizar la fórmula de la PCA, de igual manera que en el caso de los cortantes se debe mayorar por 1.4 y además se deberá mayorar por 1.3 debido al coeficiente sanitario como indica el ACI 350.

$$Mux = 1.4 * \text{coef. sanitario} * \text{Coef.} * q * \frac{a^2}{1000}$$

$$Mux = 1.4 * 1.3 * \text{Coef.} * 1500 * \frac{1.5^2}{1000}$$

$$Mux = 6.14 * \text{Coef.}$$

**Tabla 14**

*Coefficientes de momentos verticales del lado corto según la PCA*

	Esquina	0,1b 0,9b	0,2b 0,8b	0,3b 0,7b	0,4b 0,6b	0,5b
Borde Superior	0	0	0	0	0	0
0,9a	-2	0	1	3	4	4
0,8a	-4	0	3	6	7	8



0,7a	-5	0	4	8	11	11
0,6a	-6	0	6	10	13	14
0,5a	-7	0	7	12	15	16
0,4a	-6	1	7	12	15	16
0,3a	-5	1	6	9	11	12
0,2a	-4	0	2	2	2	2
0,1a	-1	-3	-7	-11	-15	-16
Borde Inferior	0	-9	-25	-36	-43	-45

**Tabla 15***Momentos verticales del lado corto*

	Esquina	0,1b 0,9b	0,2b 0,8b	0,3b 0,7b	0,4b 0,6b	0,5b
Borde Superior	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0,9a	-12.29	0.00	6.14	18.43	24.57	24.57
0,8a	-24.57	0.00	18.43	36.86	43.00	49.14
0,7a	-30.71	0.00	24.57	49.14	67.57	67.57
0,6a	-36.86	0.00	36.86	61.43	79.85	86.00
0,5a	-43.00	0.00	43.00	73.71	92.14	98.28
0,4a	-36.86	6.14	43.00	73.71	92.14	98.28
0,3a	-30.71	6.14	36.86	55.28	67.57	73.71
0,2a	-24.57	0.00	12.29	12.29	12.29	12.29
0,1a	-6.14	-18.43	-43.00	-67.57	-92.14	-98.28
Borde Inferior	0.00	-55.28	-153.56	-221.13	-264.13	-276.41

El mayor valor es  $Mux(-) = -276.41 \text{ kg} * m$

*Cálculo de momentos horizontales*

Como en el caso de los momentos verticales, para la determinación de los momentos horizontales se debe usar la fórmula proporcionada por la PCA, la misma que debe ser mayorada por 1.4 y 1.3 que corresponden al coeficiente de las combinaciones y el coeficiente sanitario respectivamente.

$$Muy = 1.4 * coef. sanitario * Coef.* q * \frac{a^2}{1000}$$

$$Muy = 1.4 * 1.3 * Coef.* 1500 * \frac{1.5^2}{1000}$$

$$Muy = 6.14 * Coef.$$

**Tabla 16***Coefficientes de momentos horizontales del lado corto según la PCA*

	Esquina	0,1b 0,9b	0,2b 0,8b	0,3b 0,7b	0,4b 0,6b	0,5b
Borde Superior	0	0	0	0	0	0
0,9a	-9	-3	1	3	4	4
0,8a	-18	-6	1	5	7	8
0,7a	-25	-8	2	7	10	10
0,6a	-31	-9	3	9	12	12
0,5a	-33	-9	3	9	12	13
0,4a	-32	-8	4	9	11	12
0,3a	-27	-6	3	7	8	9
0,2a	-18	-3	2	4	4	4
0,1a	-6	-2	-1	-1	-2	-2
Borde Inferior	0	-2	-5	-7	-9	-9

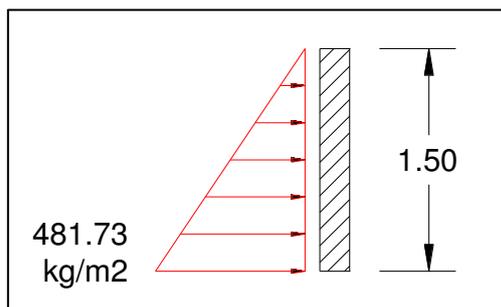
**Tabla 17***Momentos horizontales del lado corto*

	Esquina	0,1b 0,9b	0,2b 0,8b	0,3b 0,7b	0,4b 0,6b	0,5b
Borde Superior	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0,9a	-55.28	-18.43	6.14	18.43	24.57	24.57
0,8a	-110.57	-36.86	6.14	30.71	43.00	49.14
0,7a	-153.56	-49.14	12.29	43.00	61.43	61.43
0,6a	-190.42	-55.28	18.43	55.28	73.71	73.71
0,5a	-202.70	-55.28	18.43	55.28	73.71	79.85
0,4a	-196.56	-49.14	24.57	55.28	67.57	73.71
0,3a	-165.85	-36.86	18.43	43.00	49.14	55.28
0,2a	-110.57	-18.43	12.29	24.57	24.57	24.57
0,1a	-36.86	-12.29	-6.14	-6.14	-12.29	-12.29
Borde Inferior	0.00	-12.29	-30.71	-43.00	-55.28	-55.28

El mayor valor es  $M_{uy}(-) = -202.70 \text{ kg} * m$

### 5.2.2.2 Esfuerzos para la segunda condición de carga

En este caso se considera el caso en el que el tanque se encuentre vacío, pero se toman únicamente las presiones que ejerce el suelo hacia las paredes.



**Figura 16.** Presión del suelo actuante en las paredes del tanque

Las relaciones de las dimensiones del tanque con relación a la altura, se indicaron anteriormente y quedan de la siguiente manera:

$$\text{Relación lado largo/altura } (b/a) = 2.5$$

$$\text{Relación lado corto/altura } (c/a) = 1.25$$

#### *Cálculo de la pared correspondiente al lado largo*

De acuerdo con la tabla de la PCA que corresponde al CASO #4 y con respecto a las relaciones anteriormente mencionadas, los coeficientes de cortante son los siguientes:

**Tabla 18**

*Coefficientes de cortante del lado largo según la PCA*

Relación	b/a = 2.50
Borde inferior - punto medio	0.40
Borde lateral - máximo	0.26
Borde lateral - punto medio	0.26
Borde superior - punto medio	0.11

#### *Cortante en el borde inferior de la pared*

En la tabla anterior se puede observar que el coeficiente de cortante para el borde inferior del lado largo es:  $C_s = 0.40$

$$V = C_s * q * a$$

$$V = 0.4 * 481.73 \text{ kg/m} * 1.5\text{m}$$

$$V = 289.04 \text{ kg}$$

De acuerdo al ACI 350 el valor del cortante  $V$  debe ser mayorado x el coeficiente de 1.6, debido a las combinaciones de carga por fluidos.

$$V_u = 1.6 * V$$

$$V_u = 1.6 * 289.04 \text{ kg}$$

$$V_u = 462.46 \text{ kg}$$

*Cortante en los bordes laterales de la pared*

$$V = C_s * q * a$$

$$V = 0.26 * 481.73 \text{ kg/m} * 1.5\text{m}$$

$$V = 187.87 \text{ kg}$$

$$V_u = 1.6 * V = 1.6 * 187.87 \text{ kg}$$

$$V_u = 300.60 \text{ kg}$$

*Cálculo de momentos verticales*

Para el cálculo de los momentos verticales generados en las paredes se deberá utilizar la fórmula de la PCA, de igual manera que en el caso de los cortantes se debe mayorar por 1.6 y además se deberá mayorar por 1.3 debido al coeficiente sanitario como indica el ACI 350.

El signo negativo se considera debido a la ley de signos, debido a que los momentos actúan en la cara externa de la pared del tanque.

$$M_{ux} = -1.6 * coef. sanitario * Coef. * q * \frac{a^2}{1000}$$

$$M_{ux} = -1.6 * 1.3 * Coef. * 481.73 * \frac{1.5^2}{1000}$$

$$M_{ux} = -2.25 * Coef.$$

**Tabla 19***Coefficientes de momentos verticales del lado largo según la PCA*

	Esquina	0.1b 0.9b	0.2b 0.8b	0.3b 0.7b	0.4b 0.6b	0.5b
Borde Superior	0	0	0	0	0	0
0,9a	-2	2	5	8	9	9
0,8a	-4	4	11	15	17	18
0,7a	-6	5	15	21	23	24
0,6a	-7	7	18	24	27	28
0,5a	-7	7	19	25	28	28
0,4a	-7	7	17	22	23	24
0,3a	-6	6	11	13	13	13
0,2a	-4	1	0	-2	-4	-4
0,1a	-1	-8	-19	-26	-29	-30
Borde Inferior	0	-25	-49	-60	-64	-65

**Tabla 20***Momentos verticales del lado largo*

	Esquina	0.1b 0.9b	0.2b 0.8b	0.3b 0.7b	0.4b 0.6b	0.5b
Borde Superior	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0,9a	4.51	-4.51	-11.27	-18.04	-20.29	-20.29
0,8a	9.02	-9.02	-24.80	-33.82	-38.33	-40.58
0,7a	13.53	-11.27	-33.82	-47.34	-51.85	-54.11
0,6a	15.78	-15.78	-40.58	-54.11	-60.87	-63.13
0,5a	15.78	-15.78	-42.84	-56.36	-63.13	-63.13
0,4a	15.78	-15.78	-38.33	-49.60	-51.85	-54.11
0,3a	13.53	-13.53	-24.80	-29.31	-29.31	-29.31
0,2a	9.02	-2.25	0.00	4.51	9.02	9.02
0,1a	2.25	18.04	42.84	58.62	65.38	67.63
Borde Inferior	0.00	56.36	110.47	135.27	144.29	146.54

El mayor valor es  $Mux(+) = 146.54 \text{ kg} * m$

#### *Cálculo de momentos horizontales*

Como en el caso de los momentos verticales, para la determinación de los momentos horizontales se debe usar la fórmula proporcionada por la PCA, la misma que debe ser mayorada por 1.6 y 1.3 que corresponden al coeficiente de las combinaciones y el coeficiente sanitario respectivamente, además se debe considerar el signo negativo debido a la ley de signos.

$$Muy = -1.6 * coef. sanitario * Coef.* q * \frac{a^2}{1000}$$

$$Muy = -1.6 * 1.3 * Coef.* 481.73 * \frac{1.5^2}{1000}$$

$$Muy = -2.25 * Coef.$$

**Tabla 21***Coefficientes de momentos horizontales del lado largo según la PCA*

	Esquina	0.1b 0.9b	0.2b 0.8b	0.3b 0.7b	0.4b 0.6b	0.5b
Borde Superior	0	0	0	0	0	0
0,9a	-11	0	3	3	3	3
0,8a	-21	0	5	6	5	5
0,7a	-29	0	7	8	7	7
0,6a	-35	0	9	9	8	8
0,5a	-37	1	9	9	8	8
0,4a	-35	2	8	8	7	6
0,3a	-29	2	6	5	4	4
0,2a	-18	1	2	1	0	0
0,1a	-6	-1	-3	-5	-6	-6
Borde Inferior	0	5	-10	-12	-13	-13

**Tabla 22***Momentos horizontales del lado largo*

	Esquina	0.1b 0.9b	0.2b 0.8b	0.3b 0.7b	0.4b 0.6b	0.5b
Borde Superior	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0,9a	24.80	0.00	-6.76	-6.76	-6.76	-6.76
0,8a	47.34	0.00	-11.27	-13.53	-11.27	-11.27
0,7a	65.38	0.00	-15.78	-18.04	-15.78	-15.78
0,6a	78.91	0.00	-20.29	-20.29	-18.04	-18.04
0,5a	83.42	-2.25	-20.29	-20.29	-18.04	-18.04
0,4a	78.91	-4.51	-18.04	-18.04	-15.78	-13.53
0,3a	65.38	-4.51	-13.53	-11.27	-9.02	-9.02
0,2a	40.58	-2.25	-4.51	-2.25	0.00	0.00
0,1a	13.53	2.25	6.76	11.27	13.53	13.53
Borde Inferior	0.00	-11.27	22.54	27.05	29.31	29.31

El mayor valor es  $Muy(+)$  = **83.42 kg \* m**

*Cálculo de la pared correspondiente al lado corto*

Como se indicó anteriormente la relación del lado largo con respecto al lado corto es  $c/a = 1.25$ .

Los coeficientes de cortante corresponden al CASO #4 de la PCA.

**Tabla 23**

*Coefficientes de cortante del lado corto según la PCA*

Relación	$c/a = 1.25$
Borde inferior - punto medio	0.36
Borde lateral - máximo	0.25
Borde lateral - punto medio	0.25
Borde superior - punto medio	0.09

*Cortante en el borde inferior de la pared*

$$V = C_s * q * a$$

$$V = 0.36 * 481.73 \text{ kg/m} * 1.5\text{m}$$

$$V = 260.13 \text{ kg}$$

El valor del cortante debe ser mayorado por 1.6 como lo indica el ACI 350 para las combinaciones de carga.

$$V_u = 1.6 * V$$

$$V_u = 1.6 * 260.13 \text{ kg}$$

$$V_u = 416.21 \text{ kg}$$

*Cortante en los bordes laterales de la pared*

$$V = C_s * q * a$$

$$V = 0.25 * 481.73 \text{ kg/m} * 1.5\text{m}$$

$$V = 180.65 \text{ kg}$$

$$V_u = 1.6 * V = 1.4 * 180.65 \text{ kg}$$

$$V_u = 289.04 \text{ kg}$$

### *Cálculo de momentos verticales*

Para el cálculo de los momentos verticales generados en las paredes se deberá utilizar la fórmula de la PCA, de igual manera que en el caso de los cortantes se debe mayorar por 1.6 y además se deberá mayorar por 1.3 debido al coeficiente sanitario como indica el ACI 350.

$$Mux = -1.6 * coef. sanitario * Coef.* q * \frac{a^2}{1000}$$

$$Mux = -1.6 * 1.3 * Coef.* 481.73 * \frac{1.5^2}{1000}$$

$$Mux = -2.25 * Coef.$$

**Tabla 24**

*Coefficientes de momentos verticales del lado corto según la PCA*

	Esquina	0.1b 0.9b	0.2b 0.8b	0.3b 0.7b	0.4b 0.6b	0.5b
Borde Superior	0	0	0	0	0	0
0,9a	-2	0	1	3	4	4
0,8a	-4	0	3	6	7	8
0,7a	-5	0	4	8	11	11
0,6a	-6	0	6	10	13	14
0,5a	-7	0	7	12	15	16
0,4a	-6	1	7	12	15	16
0,3a	-5	1	6	9	11	12
0,2a	-4	0	2	2	2	2
0,1a	-1	-3	-7	-11	-15	-16
Borde Inferior	0	-9	-25	-36	-43	-45

**Tabla 25**

*Momentos verticales del lado corto según la PCA*

	Esquina	0.1b 0.9b	0.2b 0.8b	0.3b 0.7b	0.4b 0.6b	0.5b
Borde Superior	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0,9a	4.51	0.00	-2.25	-6.76	-9.02	-9.02
0,8a	9.02	0.00	-6.76	-13.53	-15.78	-18.04
0,7a	11.27	0.00	-9.02	-18.04	-24.80	-24.80
0,6a	13.53	0.00	-13.53	-22.54	-29.31	-31.56
0,5a	15.78	0.00	-15.78	-27.05	-33.82	-36.07
0,4a	13.53	-2.25	-15.78	-27.05	-33.82	-36.07
0,3a	11.27	-2.25	-13.53	-20.29	-24.80	-27.05



0,2a	9.02	0.00	-4.51	-4.51	-4.51	-4.51
0,1a	2.25	6.76	15.78	24.80	33.82	36.07
Borde Inferior	0.00	20.29	56.36	81.16	96.94	101.45

El mayor valor es  $Mux(+) = 101.45 \text{ kg} * m$

#### *Cálculo de momentos horizontales*

Como en el caso de los momentos verticales, para la determinación de los momentos horizontales se debe usar la fórmula proporcionada por la PCA, la misma que debe ser mayorada por 1.6 y 1.3 que corresponden al coeficiente de las combinaciones y el coeficiente sanitario respectivamente.

$$Muy = -1.6 * coef. sanitario * Coef. * q * \frac{a^2}{1000}$$

$$Muy = -1.6 * 1.3 * Coef. * 481.73 * \frac{1.5^2}{1000}$$

$$Muy = -2.25 * Coef.$$

**Tabla 26**

*Coefficientes de momentos horizontales del lado corto según la PCA*

	Esquina	0.1b 0.9b	0.2b 0.8b	0.3b 0.7b	0.4b 0.6b	0.5b
Borde Superior	0	0	0	0	0	0
0,9a	-9	-3	1	3	4	4
0,8a	-18	-6	1	5	7	8
0,7a	-25	-8	2	7	10	10
0,6a	-31	-9	3	9	12	12
0,5a	-33	-9	3	9	12	13
0,4a	-32	-8	4	9	11	12
0,3a	-27	-6	3	7	8	9
0,2a	-18	-3	2	4	4	4
0,1a	-6	-2	-1	-1	-2	-2
Borde Inferior	0	-2	-5	-7	-9	-9

**Tabla 27***Momentos horizontales del lado corto*

	Esquina	0.1b 0.9b	0.2b 0.8b	0.3b 0.7b	0.4b 0.6b	0.5b
Borde Superior	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0,9a	20.29	6.76	-2.25	-6.76	-9.02	-9.02
0,8a	40.58	13.53	-2.25	-11.27	-15.78	-18.04
0,7a	56.36	18.04	-4.51	-15.78	-22.54	-22.54
0,6a	69.89	20.29	-6.76	-20.29	-27.05	-27.05
0,5a	74.40	20.29	-6.76	-20.29	-27.05	-29.31
0,4a	72.14	18.04	-9.02	-20.29	-24.80	-27.05
0,3a	60.87	13.53	-6.76	-15.78	-18.04	-20.29
0,2a	40.58	6.76	-4.51	-9.02	-9.02	-9.02
0,1a	13.53	4.51	2.25	2.25	4.51	4.51
Borde Inferior	0.00	4.51	11.27	15.78	20.29	20.29

El mayor valor es **Muy(+)** = **74.40 kg \* m**

### 5.2.3 Diseño de los elementos del tanque

#### 5.2.3.1 Verificación del esfuerzo cortante en las paredes

A continuación se presenta la tabla con los valores de los esfuerzos cortantes producidos en las paredes del tanque obtenidos anteriormente:

**Tabla 28***Resumen de los esfuerzos cortantes*

		Cortante último por acción del	
		Agua (kg)	Suelo (kg)
Parte inferior	Lado largo	1260.00	462.46
	Lado corto	1134.00	416.21
Bordes laterales	Lado largo	819.00	300.60
	Lado corto	787.50	289.04

#### *Cortante en la parte inferior del muro*

Para verificar el cortante se tomará en cuenta el mayor valor de los esfuerzos cortantes encontrados para compararlo con la resistencia al cortante proporcionada por el hormigón  $\phi Vc$ .

$$\phi V_c = 0.53 * 0.85 * \sqrt{f'c} * bw * d$$

$$\phi V_c = 0.53 * 0.85 * \sqrt{210} kg/cm^2 * 100cm * 12cm$$

$$\phi V_c = 7834.04 kg$$

Para comprobar que el valor del cortante cumple lo comparamos con el mayor valor de los cortantes obtenidos anteriormente, tanto de los producidos por el efecto del agua como de los producidos por el efecto del suelo. Como podemos apreciar el mayor valor del cortante en la parte inferior de las paredes del tanque es el correspondiente al generado por la presión del agua en el lado largo del tanque  $V_u = 1260 kg$ .

$$\phi V_c > V_u$$

$$7834.04 kg > 1260 kg \quad \text{CUMPLE}$$

Por lo tanto en valor del cortante cumple en la parte inferior de las paredes del muro.

#### *Cortante en los bordes laterales del muro*

Para este caso podemos apreciar que el mayor valor de cortante obtenido es el correspondiente al efecto producido por la acción del agua en el lado largo del tanque  $V_u = 819 kg$ . Para lo cual se debe tener en cuenta la acción producida por posibles tracciones debidas a los muros continuos.

Debido a que el análisis se o realiza en un franja de 1m el valor de  $bw = 100cm$ , mientras que el valor de  $h$  corresponde al espesor de la pared del muro.

$$A_g = bw * h$$

$$A_g = 100 * 20 = 2000cm^2$$

$N_u$  Corresponde al valor del cortante producido en el muro corto.

$$\phi V_c = 0.53 * 0.85 \left( 1 + \frac{N_u}{35 * A_g} \right) * \sqrt{f'c} * bw * d$$

$$N_u = 787.50 kg$$

$$\phi V_c = 0.53 * 0.85 \left( 1 + \frac{787.50}{35 * 2000} \right) * \sqrt{210} * 100 * 12$$

$$\phi V_c = 7922.17 \text{ kg}$$

A continuación comparamos el valor del cortante proporcionado por el hormigón con el cortante último.

$$\phi V_c > V_u$$

$$7922.17 \text{ kg} > 819.00 \text{ kg} \quad \mathbf{CUMPLE}$$

Con esto se concluye que el cortante en los bordes laterales del tanque también cumple.

### 5.2.3.2 Diseño a flexión de las paredes del tanque

#### Diseño de las paredes del lado largo del tanque

Para el diseño de la cara interna de las paredes del muro se toma en cuenta los valores de los momentos horizontales y verticales producidos por la presión del agua.

Para el refuerzo vertical se considera el valor de  $M_{ux}$ .

$$M_{ux}(-) = -399.26 \text{ kg} * \text{m} = -39926.25 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$R_u = \frac{M_u}{\phi * b_w * d^2}$$

$$R_u = \frac{39926.25 \text{ kg} * \text{cm}}{0.9 * 100 \text{ cm} * (12 \text{ cm})^2}$$

$$R_u = 3.08 \text{ kg/cm}^2$$

La cuantía necesaria sería:

$$\rho = 0.85 * \frac{f'_c}{f_y} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.36 * R_u}{f'_c}} \right)$$

$$\rho = 0.85 * \frac{210 \text{ kg/cm}^2}{4200 \text{ kg/cm}^2} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.36 * 3.08 \text{ kg/cm}^2}{210 \text{ kg/cm}^2}} \right)$$

$$\rho = 0.0007$$

Mientras que la cuantía mínima está dada por la ecuación (10.3) de la sección 10.5.1 del ACI 318-11.

$$\rho_{min} = \frac{14}{f_y}$$

$$\rho_{min} = \frac{14}{4200} = 0.0033$$

$$A_{S_{min}} = 0.0033 * bw * d = 0.0033 * 100cm * 12cm$$

$$A_{S_{min}} = 4.00 \text{ cm}^2$$

$$A_{S_{calculado}} = \rho * bw * d = 0.0007 * 100cm * 12cm$$

$$A_{S_{calculado}} = 0.84 \text{ cm}^2$$

$$A_{S_{min}} > A_{S_{calculado}}$$

Por lo tanto se debe colocar el refuerzo mínimo.

$$A_{S_{colocado}} = 1\emptyset 12@25cm = 4.52 \text{ cm}^2$$

Para el refuerzo horizontal se considera el valor de  $M_{uy}$ .

$$M_{uy(-)} = -227.27 \text{ kg} * m = -22727.25 \text{ kg} * cm$$

$$R_u = \frac{M_u}{\phi * bw * d^2}$$

$$R_u = \frac{22727.25 \text{ kg} * cm}{0.9 * 100cm * (12cm)^2}$$

$$R_u = 1.75 \text{ kg/cm}^2$$

La cuantía necesaria a sería:

$$\rho = 0.85 * \frac{f'_c}{f_y} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.36 * R_u}{f'_c}} \right)$$

$$\rho = 0.85 * \frac{210 \text{ kg/cm}^2}{4200 \text{ kg/cm}^2} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.36 * 1.75 \text{ kg/cm}^2}{210 \text{ kg/cm}^2}} \right)$$

$$\rho = 0.0004$$

$$As(\text{flexión}) = 0.0004 * 100\text{cm} * 12\text{cm} = 0.48\text{cm}^2$$

Mientras que el acero requerido para la tracción axial es:

$$Nu = 787.50 \text{ kg}$$

$$As(\text{tracción}) = \frac{1.65 * Nu}{\phi * fy} = \frac{1.65 * 787.50 \text{ kg}}{0.9 * 4200 \text{ kg/cm}^2} = 0.34 \text{ cm}^2$$

$$As_{\text{calculado}} = As(\text{flexión}) + \frac{As(\text{tracción})}{2}$$

$$As_{\text{calculado}} = 0.65 \text{ cm}^2$$

$$As_{\text{min}} = 4.00 \text{ cm}^2$$

$$As_{\text{min}} > As_{\text{calculado}}$$

$$As_{\text{colocado}} = 1\emptyset 12@25\text{cm} = 4.52 \text{ cm}^2$$

Para el cálculo del refuerzo necesario en la cara externa de las paredes se toma en cuenta los momentos producidos por la acción de la tierra.

Para los refuerzos verticales tenemos:

$$Mux(+) = 14654.23 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$Ru = \frac{14654.23 \text{ kg} * \text{cm}}{0.9 * 100\text{cm} * (12\text{cm})^2} = 1.13 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rho = 0.85 * \frac{210 \text{ kg/cm}^2}{4200 \text{ kg/cm}^2} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.36 * 1.13 \text{ kg/cm}^2}{210 \text{ kg/cm}^2}} \right) = 0.0003$$

$$As_{\text{calculado}} = 0.36 \text{ cm}^2$$

$$A_{s_{min}} = 4.00 \text{ cm}^2$$

$$A_{s_{min}} > A_{s_{calculado}}$$

$$A_{s_{colocado}} = 1\emptyset 12@25\text{cm} = 4.52 \text{ cm}^2$$

Para el refuerzo vertical tenemos:

$$M_{uy(+)} = 8341.64 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$R_u = \frac{8341.64 \text{ kg} * \text{cm}}{0.9 * 100\text{cm} * (12\text{cm})^2} = 0.64 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rho = 0.85 * \frac{210 \text{ kg/cm}^2}{4200 \text{ kg/cm}^2} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.36 * 0.64 \text{ kg/cm}^2}{210 \text{ kg/cm}^2}} \right) = 0.0002$$

$$A_{s(\text{flexión})} = 0.0002 * 100\text{cm} * 12\text{cm} = 0.24\text{cm}^2$$

$$A_{s(\text{tracción})} = \frac{1.65 * 289.04 \text{ kg}}{0.9 * 4200 \text{ kg/cm}^2} = 0.13 \text{ cm}^2$$

$$A_{s_{calculado}} = A_{s(\text{flexión})} + \frac{A_{s(\text{tracción})}}{2} = 0.31 \text{ cm}^2$$

$$A_{s_{min}} = 4.00 \text{ cm}^2$$

$$A_{s_{min}} > A_{s_{calculado}}$$

$$A_{s_{colocado}} = 1\emptyset 12@25\text{cm} = 4.52 \text{ cm}^2$$

*Diseño de las paredes del lado corto del tanque*

Para el diseño de la cara interna de las paredes del muro se toma en cuenta los valores de los momentos horizontales y verticales producidos por la presión del agua.

Para el refuerzo vertical se considera el valor de  $M_{ux}$ .

$$M_{ux(-)} = -27641.25 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$R_u = \frac{27641.25 \text{ kg} * \text{cm}}{0.9 * 100\text{cm} * (12\text{cm})^2} = 2.13 \text{ kg/cm}^2$$

La cuantía necesaria sería:

$$\rho = 0.85 * \frac{210 \text{ kg/cm}^2}{4200 \text{ kg/cm}^2} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.36 * 2.13 \text{ kg/cm}^2}{210 \text{ kg/cm}^2}} \right) = 0.0005$$

$$\rho_{min} = \frac{14}{4200} = 0.0033$$

$$As_{min} = 0.0033 * bw * d = 0.0033 * 100\text{cm} * 12\text{cm}$$

$$As_{min} = 4.00 \text{ cm}^2$$

$$As_{calculado} = \rho * bw * d = 0.0005 * 100\text{cm} * 12\text{cm}$$

$$As_{calculado} = 0.60 \text{ cm}^2$$

$$As_{min} > As_{calculado}$$

Por lo tanto se debe colocar el refuerzo mínimo.

$$As_{colocado} = 1\emptyset 12@25\text{cm} = 4.52 \text{ cm}^2$$

Para el refuerzo horizontal se considera el valor de *Muy*.

$$Muy(-) = 20270.25 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$Ru = \frac{20270.25 \text{ kg} * \text{cm}}{0.9 * 100\text{cm} * (12\text{cm})^2} = 1.56 \text{ kg/cm}^2$$

La cuantía necesaria a sería:

$$\rho = 0.85 * \frac{210 \text{ kg/cm}^2}{4200 \text{ kg/cm}^2} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.36 * 1.56 \text{ kg/cm}^2}{210 \text{ kg/cm}^2}} \right) = 0.0004$$

$$As(\text{flexión}) = 0.0004 * 100\text{cm} * 12\text{cm} = 0.48\text{cm}^2$$

Mientras que el acero requerido para la tracción axial es:

$$Nu = 819.00 \text{ kg}$$

$$As(\text{tracción}) = \frac{1.65 * Nu}{\phi * fy} = \frac{1.65 * 819.00 \text{ kg}}{0.9 * 4200 \text{ kg/cm}^2} = 0.36 \text{ cm}^2$$

$$As_{\text{calculado}} = As(\text{flexión}) + \frac{As(\text{tracción})}{2}$$

$$As_{\text{calculado}} = 0.66 \text{ cm}^2$$

$$As_{\text{min}} = 4.00 \text{ cm}^2$$

$$As_{\text{min}} > As_{\text{calculado}}$$

$$As_{\text{colocado}} = 1\phi 12@25\text{cm} = 4.52 \text{ cm}^2$$

Para el cálculo del refuerzo necesario en la cara externa de las paredes se toma en cuenta los momentos producidos por la acción de la tierra.

Para los refuerzos verticales tenemos:

$$Mux(+)= 10145.24 \text{ kg} * \text{m}$$

$$Ru = \frac{10145.24 \text{ kg} * \text{cm}}{0.9 * 100\text{cm} * (12\text{cm})^2} = 0.78 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rho = 0.85 * \frac{210 \text{ kg/cm}^2}{4200 \text{ kg/cm}^2} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.36 * 0.78 \text{ kg/cm}^2}{210 \text{ kg/cm}^2}} \right) = 0.0002$$

$$As_{\text{calculado}} = 0.24 \text{ cm}^2$$

$$As_{\text{min}} = 4.00 \text{ cm}^2$$

$$As_{\text{min}} > As_{\text{calculado}}$$

$$As_{\text{colocado}} = 1\phi 12@25\text{cm} = 4.52 \text{ cm}^2$$

Para el refuerzo vertical tenemos:

$$Muy(+)= 7439.84 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$Ru = \frac{7439.84 \text{ kg} * \text{cm}}{0.9 * 100\text{cm} * (12\text{cm})^2} = 0.57 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rho = 0.85 * \frac{210 \text{ kg/cm}^2}{4200 \text{ kg/cm}^2} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.36 * 0.57 \text{ kg/cm}^2}{210 \text{ kg/cm}^2}} \right) = 0.0001$$

$$As(\text{flexión}) = 0.0001 * 100\text{cm} * 12\text{cm} = 0.12\text{cm}^2$$

$$As(\text{tracción}) = \frac{1.65 * 300.60 \text{ kg}}{0.9 * 4200 \text{ kg/cm}^2} = 0.13. \text{cm}^2$$

$$As_{\text{calculado}} = As(\text{flexión}) + \frac{As(\text{tracción})}{2} = \mathbf{0.19 \text{ cm}^2}$$

$$As_{\text{min}} = \mathbf{4.00 \text{ cm}^2}$$

$$As_{\text{min}} > As_{\text{calculado}}$$

$$As_{\text{colocado}} = \mathbf{1\emptyset 12@25\text{cm} = 4.52 \text{ cm}^2}$$

### 5.2.3.3 Diseño de la base

Para el diseño de la base se tomaran los momentos que se producen en la parte inferior de las paredes que se obtuvieron por el método de la PCA:

Para la cara superior se deben tomar los momentos que se encontraron producto de la acción de la presión hidrostática:

$$Mu \text{ lado corto} = Mux(-) \text{ lado largo} = 399.26 \text{ kg} * m$$

$$Mu \text{ lado largo} = Mux(-) \text{ lado corto} = 276.41 \text{ kg} * m$$

Mientras que para la cara inferior de la base se debe considerar los momentos resultantes del contacto con el suelo:

$$Mu \text{ lado corto} = Mux(+) \text{ lado largo} = 146.54 \text{ kg} * m$$

$$Mu \text{ lado largo} = Mux(+) \text{ lado corto} = 101.45 \text{ kg} * m$$

Refuerzo superior a lo largo de los 3.40m de la base

$$Mu = 399.26 \text{ kg} * m = 39926.25 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$R_u = \frac{39926.25 \text{ kg} \cdot \text{cm}}{0.9 \cdot 100\text{cm} \cdot (12\text{cm})^2} = 3.08 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rho = 0.85 \cdot \frac{210 \text{ kg/cm}^2}{4200 \text{ kg/cm}^2} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.36 \cdot 3.08 \text{ kg/cm}^2}{210 \text{ kg/cm}^2}} \right) = 0.0007$$

$$A_{S_{\text{calculado}}} = \rho \cdot bw \cdot d = 0.0007 \cdot 100\text{cm} \cdot 12\text{cm} = \mathbf{0.84 \text{ cm}^2}$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{14}{4200} = 0.0033$$

$$A_{S_{\text{min}}} = 0.0033 \cdot bw \cdot d = 0.0033 \cdot 100\text{cm} \cdot 12\text{cm} = \mathbf{4.00 \text{ cm}^2}$$

$$A_{S_{\text{min}}} > A_{S_{\text{calculado}}}$$

$$A_{S_{\text{colocado}}} = \mathbf{1\emptyset 12@25\text{cm} = 4.52 \text{ cm}^2}$$

*Refuerzo superior a lo largo de los 1.70m de la base*

$$M_u = 276.41 \text{ kg} \cdot \text{m} = 27641.25 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$R_u = \frac{27641.25 \text{ kg} \cdot \text{cm}}{0.9 \cdot 100\text{cm} \cdot (12\text{cm})^2} = 2.13 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rho = 0.85 \cdot \frac{210 \text{ kg/cm}^2}{4200 \text{ kg/cm}^2} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.36 \cdot 2.13 \text{ kg/cm}^2}{210 \text{ kg/cm}^2}} \right) = 0.0005$$

$$A_{S_{\text{calculado}}} = \rho \cdot bw \cdot d = 0.0005 \cdot 100\text{cm} \cdot 12\text{cm} = \mathbf{0.60 \text{ cm}^2}$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{14}{4200} = 0.0033$$

$$A_{S_{\text{min}}} = 0.0033 \cdot bw \cdot d = 0.0033 \cdot 100\text{cm} \cdot 12\text{cm} = \mathbf{4.00 \text{ cm}^2}$$

$$A_{S_{\text{min}}} > A_{S_{\text{calculado}}}$$

$$A_{S_{\text{colocado}}} = \mathbf{1\emptyset 12@25\text{cm} = 4.52 \text{ cm}^2}$$

*Refuerzo inferior a lo largo de los 3.40m de la base*

$$M_u = 146.54 \text{ kg} \cdot \text{m} = 14654.23 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$R_u = \frac{14654.23 \text{ kg} \cdot \text{cm}}{0.9 \cdot 100\text{cm} \cdot (12\text{cm})^2} = 1.13 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rho = 0.85 \cdot \frac{210 \text{ kg/cm}^2}{4200 \text{ kg/cm}^2} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.36 \cdot 1.13 \text{ kg/cm}^2}{210 \text{ kg/cm}^2}} \right) = 0.0003$$

$$A_{S_{\text{calculado}}} = \rho \cdot bw \cdot d = 0.0003 \cdot 100\text{cm} \cdot 12\text{cm} = \mathbf{0.36 \text{ cm}^2}$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{14}{4200} = 0.0033$$

$$A_{S_{\text{min}}} = 0.0033 \cdot bw \cdot d = 0.0033 \cdot 100\text{cm} \cdot 12\text{cm} = \mathbf{4.00 \text{ cm}^2}$$

$$A_{S_{\text{min}}} > A_{S_{\text{calculado}}}$$

$$A_{S_{\text{colocado}}} = \mathbf{1\emptyset 12@25\text{cm} = 4.52 \text{ cm}^2}$$

*Refuerzo superior a lo largo de los 1.70m de la base*

$$M_u = 101.45 \text{ kg} \cdot \text{m} = 10145.24 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

$$R_u = \frac{10145.24 \text{ kg} \cdot \text{cm}}{0.9 \cdot 100\text{cm} \cdot (12\text{cm})^2} = 0.78 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rho = 0.85 \cdot \frac{210 \text{ kg/cm}^2}{4200 \text{ kg/cm}^2} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.36 \cdot 0.78 \text{ kg/cm}^2}{210 \text{ kg/cm}^2}} \right) = 0.0002$$

$$A_{S_{\text{calculado}}} = \rho \cdot bw \cdot d = 0.0002 \cdot 100\text{cm} \cdot 12\text{cm} = \mathbf{0.24 \text{ cm}^2}$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{14}{4200} = 0.0033$$

$$A_{S_{\text{min}}} = 0.0033 \cdot bw \cdot d = 0.0033 \cdot 100\text{cm} \cdot 12\text{cm} = \mathbf{4.00 \text{ cm}^2}$$

$$A_{S_{\text{min}}} > A_{S_{\text{calculado}}}$$

$$A_{S_{\text{colocado}}} = \mathbf{1\emptyset 12@25\text{cm} = 4.52 \text{ cm}^2}$$

#### 5.2.3.4 Diseño de la tapa

Para el diseño de la tapa se considera que ésta se encuentra simplemente apoyada y solo se consideran los efectos del peso propio y de una carga viva de  $200\text{kg/m}^2$ .

$$PP(\text{tapa}) = \gamma_{Ho} * \text{espesor} * \text{ancho}$$

$$PP(\text{tapa}) = 2400\text{kg/m}^3 * 0.20\text{m} * 1\text{m}$$

$$PP(\text{tapa}) = 480 \text{ kg/m}$$

Debido a que se considera una franja diseño de 1m la carga viva quedaría:

$$CV = 200.00 \text{ kg/m}^2 * 1.00\text{m}$$

$$CV = 200 \text{ kg/m}$$

Se debe considerar la combinación de cargas del ACI, para la obtención de los diagramas de cortantes y momentos.

$$U = 1.2D + 1.6L$$

$$qu = 1.2 * 480 \text{ kg/m} + 1.6 * 200 \text{ kg/m}$$

$$qu = 896 \text{ kg/m}$$

*Refuerzo inferior a lo largo de los 3.40 m de la tapa*

Primero verificamos el cortante:

$$Vu = \frac{q * l}{2} = \frac{896 \text{ kg/m} * 3.40\text{m}}{2} = 1523.20 \text{ kg}$$

$$\phi Vc = 0.53 * 0.85 * \sqrt{f'c} * bw * d$$

$$\phi Vc = 0.53 * 0.85 * \sqrt{210\text{kg/cm}^2} * 100\text{cm} * 15\text{cm}$$

$$\phi Vc = 9792.54 \text{ kg}$$

$$\phi Vc > Vu$$

$$10445.38 \text{ kg} > 1523.20 \text{ kg} \quad \mathbf{CUMPLE}$$

Para el diseño de la tapa utilizamos el momento último.

$$M_u = \frac{q * l^2}{8} = \frac{896 \text{ kg/m} * (3.40\text{m})^2}{8} = 1294.72 \text{ kg} * \text{m}$$

$$R_u = \frac{129472 \text{ kg} * \text{cm}}{0.9 * 100\text{cm} * (15\text{cm})^2} = 6.39 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rho = 0.85 * \frac{210 \text{ kg/cm}^2}{4200 \text{ kg/cm}^2} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.36 * 6.39 \text{ kg/cm}^2}{210 \text{ kg/cm}^2}} \right) = 0.0016$$

$$A_{s_{calculado}} = \rho * b_w * d = 0.0016 * 100\text{cm} * 15\text{cm} = \mathbf{2.4 \text{ cm}^2}$$

$$\rho_{min} = \frac{14}{4200} = 0.0033$$

$$A_{s_{min}} = 0.0033 * b_w * d = 0.0033 * 100\text{cm} * 15\text{cm} = \mathbf{4.95 \text{ cm}^2}$$

$$A_{s_{min}} > A_{s_{calculado}}$$

$$A_{s_{colocado}} = \mathbf{1\emptyset12@20\text{cm} = 5.65 \text{ cm}^2}$$

Refuerzo inferior a lo largo de los 1.70 m de la tapa

Primero verificamos el cortante:

$$V_u = \frac{q * l}{2} = \frac{896 \text{ kg/m} * 1.70\text{m}}{2} = 761.60 \text{ kg}$$

$$\emptyset V_c = 0.53 * 0.85 * \sqrt{f'c} * b_w * d$$

$$\emptyset V_c = 0.53 * 0.85 * \sqrt{210\text{kg/cm}^2} * 100\text{cm} * 15\text{cm}$$

$$\emptyset V_c = 9792.54 \text{ kg}$$

$$\emptyset V_c > V_u$$

$$10445.38 \text{ kg} > 761.60 \text{ kg} \quad \mathbf{CUMPLE}$$

Para el diseño de la tapa utilizamos el momento último.

$$Mu = \frac{q * l^2}{8} = \frac{896 \text{ kg/m} * (1.70\text{m})^2}{8} = 323.68 \text{ kg} * \text{m}$$

$$Ru = \frac{32368 \text{ kg} * \text{cm}}{0.9 * 100\text{cm} * (15\text{cm})^2} = 1.60 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rho = 0.85 * \frac{210 \text{ kg/cm}^2}{4200 \text{ kg/cm}^2} * \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2.36 * 1.60 \text{ kg/cm}^2}{210 \text{ kg/cm}^2}} \right) = 0.0004$$

$$As_{\text{calculado}} = \rho * bw * d = 0.0004 * 100\text{cm} * 15\text{cm} = \mathbf{0.6 \text{ cm}^2}$$

$$\rho_{\text{min}} = \frac{14}{4200} = 0.0033$$

$$As_{\text{min}} = 0.0033 * bw * d = 0.0033 * 100\text{cm} * 15\text{cm} = \mathbf{4.95 \text{ cm}^2}$$

$$As_{\text{min}} > As_{\text{calculado}}$$

$$As_{\text{colocado}} = \mathbf{1\emptyset12@20\text{cm} = 5.65 \text{ cm}^2}$$

*Refuerzo por contracción y temperatura*

$$As(\text{contracción y temperatura}) = 0.0018 * bw * h$$

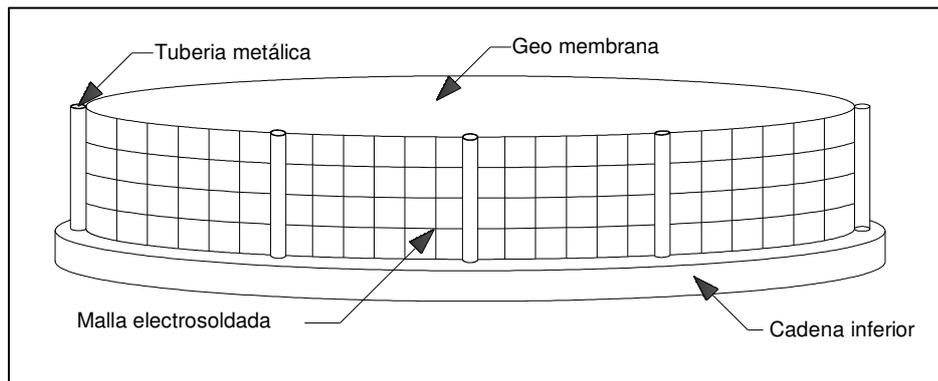
$$As(\text{contracción y temperatura}) = 0.0018 * 100\text{cm} * 20\text{cm}$$

$$As(\text{contracción y temperatura}) = 3.60 \text{ cm}^2$$

$$As_{\text{colocado}} = \mathbf{1\emptyset10@20\text{cm} = 3.93 \text{ cm}^2}$$

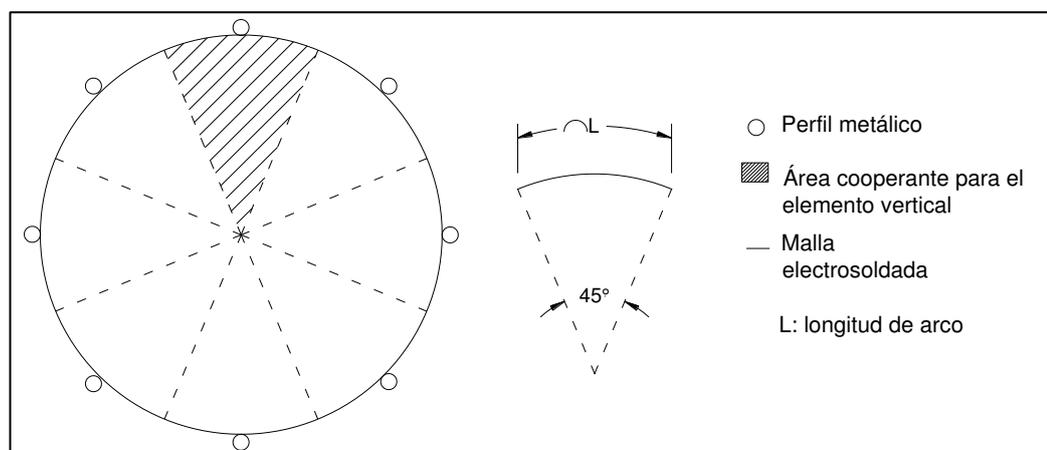
### 5.3 Diseño de los tanques de fitorremediación

En la siguiente figura se aprecian los elementos estructurales que conforman los tanques biodigestores.



**Figura 17.** Elementos que conforman los tanques de fitorremediación

Para los tanques de fitorremediación se deberá considerar el peso total del agua y distribuirlo para cada uno de los elementos verticales que se colocaran perimetralmente a lo largo de los tanques y estos estarán diseñados con perfiles tubulares metálicos. A continuación se muestra en la figura la planta de cada uno de los tanques para el diseño de sus elementos.



**Figura 18.** Vista en planta del tanque de fitorremediación

Debido a que tentativamente se van a colocar 8 perfiles metálicos a lo largo de la circunferencia distribuida de manera que todos reciban la misma carga por la presión hidrostática, la longitud de arco que vendría a ser el ancho cooperante de la carga hacia cada perfil, la carga producida por el efecto del agua quedaría de la siguiente manera:

$$L_{\text{circunferencia}} = \pi * d = \pi * 5.00m = 15.71m$$

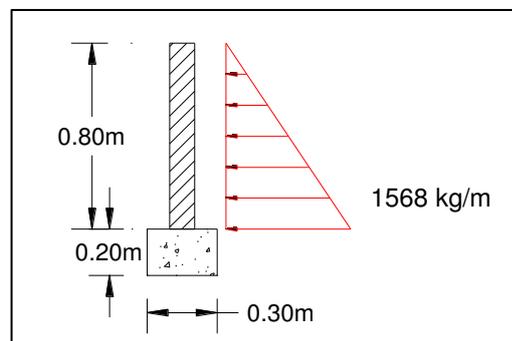
$$L_{arco} = 15.71m/8 = 1.96m$$

$$P_w = \gamma_w * h * ancho\ cooperante$$

$$P_w = 1000\ kg/m^3 * 0.80m * 1.96m$$

$$P_w = 1568\ kg/m$$

En la siguiente figura se muestra la carga actuante por los efectos de la presión hidrostática para cada uno de los elementos del tanque.



**Figura 19.** Presión hidrostática distribuida para cada elemento metálico del tanque

El momento máximo para esta condición de carga viene dado por la siguiente expresión:

$$M_{max} = \frac{P_w * h^2}{2} = \frac{1568\ kg/m * (0.80m)^2}{2} = 501.76\ kg * m$$

$$Mu = 1.4 * 501.76\ kg * m = 702.46\ kg * m$$

El esfuerzo a flexión está dado por la siguiente ecuación tomando en cuenta que  $W$  es el módulo de resistencia de la sección.

$$\sigma = \frac{Mu}{W}$$

De acuerdo a la Norma ASTM 500 el esfuerzo de fluencia de las tuberías estructurales grado B es de  $f_y = 3232\ kg/cm^2$ , por lo tanto para seleccionar la tubería idónea debemos aplicar la siguiente fórmula:

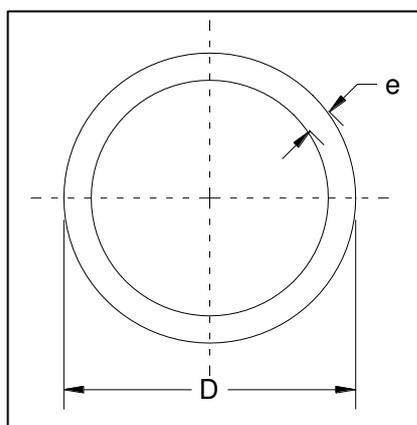
$$f_y \geq \frac{Mu}{W}$$

$$W \geq \frac{Mu}{f_y}$$

$$W \geq \frac{70246 \text{ kg} \cdot \text{cm}}{3232 \text{ kg/cm}^2}$$

$$W \geq 21.73 \text{ cm}^3$$

Por lo tanto se ha seleccionado la siguiente tubería obtenida de un catálogo de IPAC, la cual se indica en la siguiente tabla, además se indica la sección transversal de la tubería en la figura.



**Figura 20.** Sección transversal del elemento metálico

**Tabla 29**

*Dimensiones de la sección transversal*

Diámetro exterior		Espesor	Área	Peso	Momento de Inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro
D	e	A	P	I	W	i	
pulg.	mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
4	101.6	3	9.29	7.29	77.63	15.28	3.52

Para repartir la carga de la presión hidrostática uniformemente a cada uno de los elementos verticales se va a utilizar una **malla electro soldada 6mm de 10cm x10cm** y de igual manera una geo membrana de 0,5mm que prácticamente van a hacer la función de las paredes de los tanques.

Debido a que no existen cargas verticales hacia las tuberías metálicas, la cadena inferior donde éstas van a ir ancladas, será asumida de una sección de  $0.30m \times 0.20m$  y al no disponer de cargas verticales se van a diseñar con el refuerzo mínimo.

$$A_s = \rho_{min} * b_w * h$$

$$A_s = 0.0033 * 30cm * 20cm = 1.98cm^2$$

$$A_{s\text{colocado}} = 4\phi 10mm = 3.14 cm^2$$

De igual manera para los estribos se colocara

$$A_{s\text{transversal}} = 1\phi 10mm @ 20cm.$$

## 5.4 Presupuesto

### 5.4.1 Precios Unitarios

Corresponden al precio de todos los materiales, la mano de obra, el equipo y transporte por unidad de medida que el contratante deberá pagar al contratista para poder ejecutar la obra.

#### *Costos directos*

Son todos los gastos que incluyen mano de obra, materiales, equipo y transporte.

#### *Costos indirectos*

Son todos los gastos fuera de los costos directos, son los costos adicionales al costo directo, es decir es la suma de los costos directos más los beneficios que se agregan para el contratante.

Los precios unitarios se encuentran en los anexos

### 5.4.2 Presupuesto

A continuación se presentan el presupuesto sin contar con la geo membrana y los motores de aireación.

Cabe mencionar que el valor de los motores y las paletas fueron tomados de la partida presupuestal del proyecto de vinculación al cual perteneces el presente trabajo.

APU	RUBRO No.	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
<b>PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL PROGRAMA PORCINO DEL IASA 1</b>						
<b>CANAL COLECTOR</b>						
APU-001		Replanteo y nivelación con equipo topográfico	m2	36.00	1.80	64.80
APU-009		Excavación a máquina a cielo abierto H=0.00-2.75m	m3	23.76	4.47	106.21
APU-003		Hormigón Estructural f'c=210kg/cm2	m3	7.23	173.83	1256.79
APU-004		Malla electrosoldada 5mm de 15cmx15cm	m2	72.30	5.34	386.08
<b>TANQUESÉPTICO</b>						
APU-001		Replanteo y nivelación con equipo topográfico	m2	6.46	1.80	11.63
APU-009		Excavación a máquina a cielo abierto H=0.00-2.75m	m3	15.96	4.47	71.34
APU-002		Excavación manual	m3	3.19	11.45	36.53
APU-011		Relleno con material de mejoramiento	m3	3.99	28.40	113.32
APU-005		Hormigón Replanteo f'c=140kg/cm2	m3	0.80	138.46	110.77
APU-003		Hormigón Estructural f'c=210kg/cm2	m3	4.50	173.83	782.24
APU-006		Acero de Refuerzo fy=4200kg/cm2	kg	587.31	2.18	1280.34
APU-007		Tapa de acero e=3mm	u	2.00	102.44	204.88
APU-012		Masillado + impermeabilizante	m3	26.18	10.33	270.44
<b>TANQUES DE FITORREMIEDIACIÓN</b>						
APU-001		Replanteo y nivelación con equipo topográfico	m2	78.54	1.80	141.37
APU-009		Excavación a máquina a cielo abierto H=0.00-2.75m	m3	122.85	4.47	549.14
APU-002		Excavación manual	m3	24.57	11.45	281.33
APU-006		Acero de Refuerzo fy=4200kg/cm2	kg	386.20	2.18	841.92
APU-003		Hormigón Estructural f'c=210kg/cm2	m3	7.52	173.83	1307.20
APU-010		Tubo galvanizado 4" e=3mm	m	7.20	23.88	171.94
APU-008		Malla electrosoldada 6mm de 10cm x 10cm	m2	50.28	11.22	564.14
		Geomembrana 0.075mm (rollo 50m x 1.40m)	u	3.00	393.57	1180.71
		Motores rotatorios	u	4.00	200.00	800.00
		Paletas de circulación	u	8.00	125.00	1000.00
		Tendido de tubería PVC=110mm	m	83.15	8.82	733.38
					<b>SUBTOTAL</b>	12266.48
					<b>IVA</b>	-
					<b>TOTAL</b>	12266.48

## 5.5 Elaboración de planos

Los planos topográficos y estructurales se detallan en los anexos.

## CAPITULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### CONCLUSIONES

- a) Debido a las existencia de granjas porcinas pequeñas en nuestro país y centrándonos más en la Comunidad de San Fernando, Cantón Rumiñahui se evidencia la inexistencia de tratamientos de aguas residuales como tratamiento previo para la descarga hacia los ríos, lo cual provoca una enorme contaminación en las zonas urbanas e hídricas.
- b) El caudal de descarga que se obtuvo en el proyecto porcino del IASA I mediante este proyecto fue de 2 m<sup>3</sup>/día, el cual se considera congruente con un estudio pasado ya que se había obtenido un caudal de 1.26 m<sup>3</sup>/día con lo cual se puede esperar una pequeña ampliación de la población porcina.
- c) De acuerdo a la caracterización realizada mediante la toma de muestras en la descarga del agua residual se pudo comprobar que los niveles de contaminación para los diferentes parámetros analizados no son admisibles por la norma vigente por lo que es necesario un tratamiento de aguas residuales de las granjas locales.
- d) A través del tratamiento del agua residual por medio del uso de microalgas se espera la reducción de un 90% para la concentración de Nitrógeno y un 85% para Fósforo y de igual manera se espera mejorar las condiciones de DQO5 y DBO.
- e) El tratamiento de aguas residuales mediante un tanque séptico y tanques de fitorremediación puede resultar una alternativa muy efectiva para la aplicación de los productores locales, debido a su favorable relación costo-beneficio.

## RECOMENDACIONES

- a) Se recomienda hacer un seguimiento de la calidad del agua del río Santa Clara.
- b) De ser factible la construcción de este proyecto se recomienda el monitoreo de la calidad del agua residual que se va a descargar al río después de este tratamiento para comprobar los valores con la norma actual.
- c) Debería existir mayor control por parte de los municipios para evitar el alto grado de contaminación de los recursos hídricos.
- d) De la misma manera se debería concientizar y capacitar a los productores locales con métodos de tratamiento económicos y factibles para que puedan ser aplicados en las distintas comunidades dedicadas a estas labores.
- e) Es necesario una norma más amplia sobre los recursos ambientales ya que en el caso de las aguas residuales la información que se tiene es sobre los límites de contaminación permisibles pero no se tiene una sección donde se hable de los tratamientos mínimos o la infraestructura mínima para reducir estos límites de descarga.
- f) También es necesario una norma más amplia de hormigón para estos tipos de obra ya que la norma actual se enfoca en edificaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ley Organica De Recursos Hidricos Uso Y Aprovechamiento Del Agua.* (2014). Quito.
- Abalde, J., Fidago, P., Torres, E., & Herrero, C. (1995). *Microlagas: Cultivo y Aplicaciones.* España:Universidad Da Coruña.
- Acuerdo Ministerial No. 028.* (2015).
- Anexo1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador. Norma de Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes : Recurso Agua. (2015). *Edicion Especial No. 387 - Registro Oficial.*
- Avilés Ponce, L. (2013). *Caracterización Geológica-Geotécnica del Sur de la ciudad de Quito.*
- Barahona, P., & Salas , G. (2013). *Plan de Manejo Ambiental.*
- Bowles , J. (1988). *Foundation analysis and design.* Estados Unidos: McGraw Hill.
- Contreras, E. (1994). *Manual de técnicas hidrobiológicas.* Mexico: Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.
- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (2000). *Sistema de manejo de aguas residuales para nucleos pequeños y descentralizados.* Santá Fe de Bogotá: McGraw-Hill .
- Departamento de Sanidad del Estado de New York. (1990). *Manual de tratamiento de aguas negras.* Nueva York: Limusa-Willey.
- Departamento de Sanidad del Estado de Nueva York. (1990). *Manual de Tratamiento de Aguas Negras.* Mexico: Limusa.
- Garofalo, R. (2011). *Algae and aquatic biomass for a sustaintable production of 2nd generation biofuels.* AQUAFUELS.

- González de Vallejo, L. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson Educación.
- Jhon , D., Whitton, A., & Brook, A. (2002). *The Freshwater Algal Flora of the British Isles*. United Kingdom: Cambridge Press.
- Kim, M., & Park, J. (2007). *Enhanced production of Scenedesmus spp. (green microalgae) using a new medium containing fermented swine wastewater*. Bioresource Technology.
- King, H. W. (s.f.). *Manual De Hidráulica* . México : Limusa Noriega Editores.
- Metcalf & Eddy, I. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales: Redes de alcantarillado y bombeo*. Madrid: McGraw-Hill .
- Metcalf & Eddy, I. (1995). *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. Madrid: McGraw Hill Interamericana de España.
- Nij Patzán, J. (2009). *Guía práctica para el cálculo de capacidad de carga en cimentaciones superficiales, losas de cimentación, pilotes y pilas perforadas*. Guatemala.
- NTE INEN 2169 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS. (1998).
- NTE INEN 2226 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. DISEÑO DE LOS PROGRAMAS DE MUESTREO. (2000).
- Pachacama Moreno, L. (2016). *Evaluación de la remoción de contaminantes de un efluente porcino mediante la utilización de las microalgas Chlorella sp. y Synechocystis salina, a nivel de laboratorio*. Sangolquí.
- Perez. (2006). *Porcicultura y medio ambiente. Memorias II Seminario Manejo y Reciclaje de Residuales Porcinos*. Mexico.
- Sournia, A. (1974). *Circadian periodicities in natural populations of marine phytoplankton*. Adv. Mar. Biol.
- UNATSABAR, U. d. (2003). *Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización*. Lima.

*Universidad EIA Colombia.* (17 de Mayo de 2016). Obtenido de <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulosos/flujoencanales/aforamientocorrientes/aforodecorrientes.html>

World Health Organization, UNESCO, & United Nations Environment Programme. (1996). *Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring.* London: E&FN Spon.