



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LAS  
AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN EL SECTOR  
“CHAQUISHCA”, PARROQUIA GUANUJO, CANTÓN  
GUARANDA”**

**Trabajo de titulación**

**Tipo:** Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR:** MIGUEL ANGEL PILCO TOSCANO

**TUTOR:** ING. MAYRA ZAMBRANO V.

**Riobamba-Ecuador**

**2018**

**©2018, Miguel Ángel Pilco Toscano**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo: Tipo Proyecto Técnico “**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN EL SECTOR “CHAQUISHCA”, PARROQUIA GUANUJO, CANTÓN GUARANDA**” de responsabilidad del señor: MIGUEL ÁNGEL PILCO TOSCANO ha sido revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. Mayra Zambrano V.

**DIRECTORA DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN**

\_\_\_\_\_

Ing. Cristian Flores H.

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Yo, MIGUEL ANGEL PILCO TOSCANO, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 05 de marzo de 2018

MIGUEL ANGEL PILCO TOSCANO

020241205-2

Yo, MIGUEL ÁNGEL PILCO TOSCANO, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Miguel Ángel Pilco Toscano

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Miguel Pilco y Faideé Toscano, por todo su amor y apoyo brindado a lo largo de mi vida; son ellos los protagonistas de este y futuros logros; ellos, quienes desde mi infancia me han forjado con valores y principios de una persona correcta y han guiado mis pasos por un buen camino.

A mis hermanas Sandra y Cynthia, por toda la ayuda y motivación, por ese cariño fraterno que continuamente me han entregado y por la confianza que siempre han puesto en mí.

Miguel Pilco Toscano

## AGRADECIMIENTO

El más grande agradecimiento a Dios por concederme fuerza y valor para no desfallecer antes los obstáculos que se han presentado, por las maravillas que me ha regalado y por el peso que me ha quitado.

A mi familia por todo su amor, consejos y apoyo incondicional para lograr culminar una etapa más en mi vida. Gracias por la felicidad que siento al saber que tengo cuatro bellas personas que siempre han velado por mí. Gracias papá y mamá, gracias hermanas.

A mi novia, Anabel, por todo su amor, aliento y apoyo, por compartir mis alegrías y triunfos y enseñarme que la perseverancia siempre es bien recompensada.

Con infinita gratitud a mis docentes. A la Ingeniera Mayra Zambrano por su apoyo académico y personal. Gracias por haberme guiado en los momentos más complicados y ayudarme a encontrar siempre la mejor solución. Al Ingeniero Cristian Flores por compartir conmigo sus conocimientos.

Mis más sinceros agradecimientos al Dr. Max Jiménez, Dr. Olger Vivas, Ingeniero Hernán Borja, Ingeniero Patricio Medina y a cada una de las instituciones que representan, gran parte de este proyecto no hubiera sido concebido sin su ayuda.

A mi alma máter, la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por cada uno de los conocimientos académicos que se me permitió obtener en esta gran institución. A todos los docentes que me han formado intelectualmente para hoy obtener el grado académico de Ingeniero.

Miguel Pilco Toscano

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xvi	
SUMMARY .....	xvii	
CAPITULO 1		
1.    DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	1	
1.1.  Identificación del Problema .....	1	
1.2.  Justificación del Proyecto.....	1	
1.3.  Línea Base del Proyecto.....	3	
1.3.1. <i>Situación Demográfica</i> .....	5	
1.3.2. <i>Componente Económico</i> .....	7	
1.3.3. <i>Componentes Ambientales</i> .....	7	
1.3.4. <i>Topografía del sector</i> .....	8	
1.3.5. <i>Estado actual de descarga del agua residual</i> .....	10	
1.3.6. <i>Métodos y Técnicas</i> .....	10	
1.3.7. <i>Determinación del Caudal</i> .....	12	
1.3.8. <i>Muestreo</i> .....	13	
1.3.9. <i>Análisis y Caracterización del agua residual</i> .....	14	
1.4.  Beneficiarios Directos e Indirectos .....	15	
1.4.1. <i>Directos</i> .....	15	
1.4.2. <i>Indirectos</i> .....	15	
CAPITULO 2		
2.    OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	16	
2.1.  Objetivo General .....	16	
2.2.  Objetivos Específicos.....	16	
CAPITULO III.....		17
3.    ESTUDIO TÉCNICO .....	17	
3.1.  Localización del Proyecto .....	17	
3.2.  Ingeniería del Proyecto.....	19	



3.2.1. <i>Aguas Residuales</i> .....	19
3.2.2. <i>Trampa de Grasas</i> .....	21
3.2.3. <i>Humedales artificiales</i> .....	23
3.2.4. <i>Parámetros Hidrogeológicos de Diseño de Humedales</i> .....	33
3.2.5. <i>Pruebas Piloto de Tratabilidad</i> .....	39
3.2.6. <i>Cálculos de Diseño del Sistema de Tratamiento</i> .....	49
3.2.7. <i>Resultados del dimensionamiento</i> .....	68
3.3. <i>Proceso de Producción</i> .....	71
3.4. <i>Requerimientos de Tecnología, Equipos y Maquinaria</i> .....	72
3.5. <i>Costos de la implementación del Sistema de Tratamiento</i> .....	77
3.6. <i>Cronograma de ejecución del proyecto</i> .....	79
3.7. <i>Análisis</i> .....	80
CONCLUSIONES .....	82
RECOMENDACIONES .....	83
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Sectores de las zonas de expansión urbana del cantón Guaranda.....	6
Tabla 2-1: Aforación del caudal del agua residual durante el mes de junio .....	12
Tabla 3-1: Aforación del caudal del agua residual durante el mes de julio .....	12
Tabla 4-1: Aforación promedio de caudal durante junio y julio .....	12
Tabla 5-1: Caracterización inicial del agua residual .....	14
Tabla 1-3: Características de especies emergentes más utilizadas en el tratamiento de aguas ...	25
Tabla 2-3: Porosidad Total de diversos materiales .....	34
Tabla 3-3: Velocidad Darcy Horizontal.....	36
Tabla 4-3: Velocidad Darcy media .....	37
Tabla 5-3: Velocidad de Flujo Horizontal .....	37
Tabla 6-3: Velocidad de Flujo Horizontal media.....	37
Tabla 7-3: Análisis Granulométrico de Arena .....	37
Tabla 8-3: Análisis Granulométrico de Tierra .....	38
Tabla 9-3: Análisis Granulométrico de Grava .....	39
Tabla 10-3: Tamaño efectivo de Partículas.....	39
Tabla 11-3: Índice de Biodegradabilidad.....	40
Tabla 12-3: Concentración de DBO5 y DQO en el agua residual sin tratar .....	40
Tabla 13-3: Crecimiento de la Totorá en humedal alimentado con agua residual .....	44
Tabla 14-3: Número de nuevos brotes en un mes .....	45
Tabla 15-3: Variación de concentración de DBO5 y DQO en el Humedal con Totoras .....	46
Tabla 16-3: Variación de SST en el Humedal con Totoras.....	46
Tabla 17-3: Rendimiento de la Trampa de Grasas.....	47
Tabla 18-3: Rendimiento del Humedal Artificial a los tres días.....	47
Tabla 19-3: Rendimiento del Humedal Artificial a los seis días.....	48
Tabla 20-3: Tasas de crecimiento en la Provincia Bolívar y el Cantón Guaranda.....	49
Tabla 21-3: Dotaciones Recomendadas para Cálculos de Diseño .....	51
Tabla 22-3: Coeficiente de Manning para cálculo de canales.....	55
Tabla 23-3: Criterios de diseño de rejillas de limpieza manual .....	57
Tabla 24-3: Coeficiente de pérdida para rejillas .....	60
Tabla 25-3: Tiempos de retención hidráulicos en trampas de grasas.....	62
Tabla 26-3: Porosidad de las capas del humedal piloto .....	64
Tabla 27-3: Porosidad media del humedal piloto.....	64
Tabla 28-3: Características constructivas de un Humedal Subsuperficial de flujo horizontal....	65
Tabla 29-3: Conductividad hidráulica y espesor de las capas del humedal .....	66
Tabla 30-3: Resultados del Cálculo de Población Futura .....	68

Tabla 31-3: Resultados del Cálculo de Caudales .....	69
Tabla 32-3: Resultados del diseño del Canal de Entrada .....	69
Tabla 33-3: Resultados del diseño de Rejillas .....	69
Tabla 34-3: Resultados del diseño de la Trampa de Grasas.....	70
Tabla 35-3: Resultados del diseño del Humedal Subsuperficial de Flujo Horizontal.....	70
Tabla 36-3: Materiales y Normativa usados en el muestreo del Agua Residual.....	72
Tabla 37-3: Equipos utilizados para caracterizar parámetros in situ.....	72
Tabla 38-3: Equipos y Métodos para análisis del Agua Residual .....	72
Tabla 39-3: Equipos y Materiales secundarios usados en el laboratorio .....	76
Tabla 40-3: Materiales y Equipos usados en las pruebas de tratabilidad.....	76
Tabla 41-3: Costo Civil de la obra para el sistema de tratamiento.....	77
Tabla 42-3: Costo civil de la obra (Mano de obra) .....	78
Tabla 43-3: Costo total para la implementación del sistema de tratamiento.....	78
Tabla 44-3: Diagrama de Gantt de la ejecución del proyecto .....	79

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Mapa urbano del cantón Guaranda.....	4
Figura 2-1: Curvas de nivel de Chaquishca .....	9
Figura 3-1: Curvas de nivel sobre el mapa de Chaquishca .....	9
Figura 1-3: Localización de Chaquishca en el cantón Guaranda .....	18
Figura 2-3: Localización del Proyecto .....	19
Figura 3-3: Diagrama esquemático de una trampa de grasas.....	22
Figura 4-3: Proceso de depuración de aguas en los Humedales Artificiales.....	23
Figura 5-3: Esquema del proceso de aireación en un humedal .....	25
Figura 6-3: Humedal de flujo superficial .....	27
Figura 7-3: Humedal subsuperficial de flujo horizontal .....	28
Figura 8-3: Humedal subsuperficial de flujo vertical.....	28
Figura 9-3: Procesos de depuración de los humedales artificiales .....	29
Figura 10-3: Gradiente hidráulico.....	34
Figura 11-1: Permeámetro de carga constante .....	35
Figura 12-3: Trampa de Grasas usada en la tratabilidad .....	41
Figura 13-3: Humedal diseñado para las pruebas de tratabilidad .....	43
Figura 14-3: Humedal diseñado para la observación de la vegetación .....	44
Figura 15-3: Enraizamiento de la vegetación en el sustrato.....	45
Figura 16-3: Resultados del dimensionamiento del canal mediante Hcanales .....	54
Figura 17-3: Formas de rejillas .....	60

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1: Tasas de crecimiento poblacional por períodos intercensales, área urbana y rural del cantón Guaranda.....	6
Gráfico 2-1: Variación del caudal durante el mes de junio.....	13
Gráfico 3-1: Variación del caudal durante el mes de Julio .....	13
Gráfico 1-3: Curva Granulométrica de Arena.....	38
Gráfico 2-3: Curva Granulométrica de Tierra.....	38
Gráfico 3-3: Curva Granulométrica de Grava.....	39
Gráfico 4-3: Concentración de contaminantes en relación al tiempo de retención.....	46
Gráfico 5-3: Remoción de Aceites y Grasas .....	47
Gráfico 6-3: Resultados en pruebas de humedal con 3 días de retención .....	48
Gráfico 7-3: Resultados en pruebas de humedal con 6 días de retención .....	48

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Población futura .....	49
Ecuación 2. Caudal medio.....	51
Ecuación 3. Coeficiente de mayoración.....	52
Ecuación 4. Caudal mayorado.....	52
Ecuación 5. Caudal de aguas ilícitas .....	53
Ecuación 6. Caudal de diseño .....	53
Ecuación 7. Radio Hidráulico .....	54
Ecuación 8. Velocidad de Flujo .....	55
Ecuación 9. Área de la sección transversal del canal .....	56
Ecuación 10. Altura del canal .....	56
Ecuación 11. Número de barras .....	57
Ecuación 12. Longitud de las barras .....	58
Ecuación 13. Área libre entre barras .....	58
Ecuación 14. Nivel máximo de agua.....	59
Ecuación 15. Longitud sumergida.....	59
Ecuación 16. Perdida de carga .....	60
Ecuación 17. Área de la trampa de grasas.....	61
Ecuación 18. Ancho de la trampa de grasas.....	61
Ecuación 19. Longitud de la trampa de grasas.....	62
Ecuación 20. Volumen de la trampa de grasas.....	62
Ecuación 21. Profundidad de la trampa de grasas.....	63
Ecuación 22. Profundidad total de la trampa de grasas.....	63
Ecuación 23. Constante de reacción en humedales.....	64
Ecuación 24. Área superficial del Humedal.....	65
Ecuación 25. Conductividad hidráulica del Humedal .....	66
Ecuación 26. Área de la sección transversal del Humedal.....	66
Ecuación 27. Ancho del Humedal.....	67
Ecuación 28. Longitud del Humedal.....	67
Ecuación 29. Tiempo de retención del Humedal .....	68

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A. Tabla 9, Libro VI, TULSMA. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

ANEXO B. Caracterización Inicial del Agua Residual

ANEXO C. Caracterización del agua residual con 3 días de retención en el humedal

ANEXO D. Caracterización del agua residual luego de la tratabilidad

ANEXO E. Análisis de parámetros hidrogeológicos del humedal

ANEXO F. Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema de Tratamiento

ANEXO F. Puntos de descarga y recolección de muestras del agua residual

ANEXO G. Pruebas de Tratabilidad

ANEXO H. Determinados equipos de laboratorio

ANEXO I. Planos del Sistema de Tratamiento

## RESUMEN

Se diseñó un Sistema de Tratamiento para las Aguas Residuales generadas en el sector “Chaquishca”. Para lograrlo, como primer paso se verificó el estado actual del sistema de descarga de las aguas residuales para posteriormente obtener una muestra compuesta y realizar una caracterización física, química y microbiológica que nos permitió determinar los contaminantes que presentan concentraciones mayores a las permitidas por la normativa ambiental que rige en nuestro país, los cuales son: DBO5 153 mg/L; DQO 233 mg/L; SST 143 mg/L; Aceites y Grasas 34 mg/L y Coliformes fecales 7800 UFC/100 mL. Una vez conocidos estos datos, se determinó que el mejor tratamiento que se podía brindar al efluente originado en Chaquishca consiste en hacer uso de un sistema formado por un canal de entrada en el cual ubicamos un sistema de rejillas y posteriormente dirigir el flujo hacia una trampa de grasas, esto como parte del pre tratamiento y como segmento medular del sistema se decidió diseñar un humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal, usando como vegetación Totoras (*Scirpus californicus*). Con las pruebas de tratabilidad realizadas a escala de laboratorio y el posterior análisis del agua residual se diseñó el sistema propuesto obteniendo los siguientes valores para los contaminantes que fueron de especial interés: DBO5 17 mg/L, con un porcentaje de remoción de 88,88%; DQO 28 mg/L, con un porcentaje de remoción de 87,98%; Sólidos Suspendedos Totales 23 mg/L, con un porcentaje de remoción de 84,34% y Coliformes Fecales <1 UFC/100mL, con un porcentaje de remoción del 99%. De este modo se ha logrado cumplir con el objetivo planteado y se ha brindado un sistema de tratamiento, eficaz y de bajo costo, para las aguas residuales de Chaquishca. Por ello se incita implementar de manera inmediata el sistema de tratamiento diseñado en el presente proyecto.

**PALABRAS CLAVE:** <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, < TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES>, <CARACTERIZACIÓN FISICO-QUIMICA>, < DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO>, <HUMEDAL ARTIFICIAL>, <GUARANDA (CANTÓN)>



## SUMMARY

It was designed a treatment system for wastewater generated in the "Chaquishca" sector. In order to make this possible, the first step was to verify the current state of the wastewater discharge system. This process gave as a result a composite sample to perform a physical, chemical, and microbiological characterization. The characterization enabled to determine the pollutants having concentrations greater than those allowed by the regulations environmental that prevails in our country, which are BOD5 (Biochemical Oxygen Demand) 153 mg / L; OCD (Oxygen Chemical Demand) 233mg / L; SST (Total suspended solids) 143 mg / L; oils and fats 34 mg / L , and fecal coliforms 7800 CFU / 100 ml. After gathering the data, it was determined that the best treatment that could be provided to the effluent originated in Chaquishca, is to make use of a system formed by an entrance channel in which a grid system is located. Subsequently, the flow is directed to a trap of fats, this as part of the pretreatment, and as a core segment of the system a horizontal subsurface artificial wetland was designed by using cattails (*Scirpus californicus*) as vegetation. This proposed system was designed with the treatability tests performed at the laboratory scale and the subsequent analysis of wastewater. The findings of the analysis reported values for the contaminants that were of special interest, such as; BOD5 17mg / L, whose removal rate is 88.88%, OCD 28 mg / l, with a removal percentage of 87.98%; total suspended solids 23 mg / L, with a removal percentage of 84, 34% and fecal coliforms <1 CFU / 100 mL with a removal percentage of 99%. In this way, the objective set has been achieved, and an effective and low-cost treatment system has been provided for Chaquishca wastewater. For this reason, it is recommended to implement this treatment system immediately.

## KEYWORDS:

<CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <WASTEWATER TREATMENT>, <PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERIZATION>, <DESIGN OF TREATMENT PLANT>, <ARTIFICIAL WETLANDS>, <GUARANDA CANTON>.

## **CAPITULO 1**

### **1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Identificación del Problema**

El sector “Chaquishca”, en el año 2012, mediante la ordenanza del plan regulador y ordenamiento territorial, fue declarado suelo urbano por parte del GADM del cantón Guaranda. También ha sido identificado como una zona estratégica de expansión poblacional para el crecimiento del cantón (Medina, 2017).

En esta área existe una comunidad poblada con 743 habitantes, los mismos que debido a actividades domésticas diarias producen aguas negras y grises que al no recibir un adecuado tratamiento, previo a su descarga, crean un inconveniente ambiental de gran magnitud, siendo perjudicial tanto para la salud pública como para el entorno ambiental del sector.

Las aguas residuales generadas en Chaquishca, son descargadas a dos riachuelos que desembocan en el río Guaranda, el cual pertenece a la microcuenca del río Illangama, subcuenca del río Babahoyo-Milagro, cuenca del Pacífico, sistema del río Guayas; es por ello que se trata de un problema muy grave ya que este río es una de las principales arterias fluviales del cantón Guaranda.

Por este motivo se ha optado por realizar este proyecto con el objetivo de diseñar un sistema de tratamiento para las aguas residuales producidas en la comunidad, y así poder disminuir el nivel de contaminación al que se encuentran expuestos los sectores colindantes así como sus habitantes.

#### **1.2. Justificación del Proyecto**

El exceso de población ha contribuido, de manera negativa, a aumentar el nivel de consumismo de los recursos de nuestro planeta, así como también a manejar un estilo de vida despreocupado por la conservación del ambiente.

Uno de los recursos, de gran demanda en nuestra vida diaria, es el agua, debido que se define como el principal elemento para la subsistencia de los seres vivos y de igual manera se trata de

un componente fundamental en todos los procesos cotidianos de los seres humanos ya sea en actividades domésticas o extendiéndose hacia actividades industriales, lo mismo que genera gran cantidad de aguas residuales, que al ser descargadas directamente, sin un tratamiento previo, afectan de manera excesivamente relevante al medio ambiente, contando además el riesgo que representa hacia la salud humana por el exceso de contaminantes que presenta este tipo de aguas.

De acuerdo al artículo 5.2.4.9 “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.” Del 5.2.4 Normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce, de la tabla 9, del Anexo I, DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES AL RECURSO AGUA; Acuerdo Ministerial 097-A publicado en el registro oficial N° 387 del 04 de noviembre del 2015.

En la provincia Bolívar, cantón Guaranda, el panorama ambiental es alarmante, ya que, según el INEC (2010), se estima que el 80% de aguas negras y grises que generan sus habitantes son vertidas directamente a los cuerpos hídricos ubicados en la ciudad, sin recibir ningún tipo de tratamiento previo para su descarga, sobrepasando los límites máximos permitidos en la legislación ambiental vigente, lo que produce olores desagradables y afecta la vida acuática presentes en estos ríos.

En el sector denominado “Chaquishca”, perteneciente al cantón Guaranda, se localiza el centro poblado con mayor demanda de crecimiento y expansión, teniendo la mayor cantidad de área establecida para asentamientos humanos según el Perfil Territorial del cantón. El sector no cuenta con un sistema de tratamiento para las aguas residuales generadas, por los que son descargadas directamente hacia un riachuelo que desemboca en el río Guaranda, convirtiéndose así en un gran foco de contaminación, que ocasiona serios problemas ambientales afectando a los habitantes, semovientes y cultivos.

Es necesario mencionar que el río Guaranda, junto con el río Salinas son las principales arterias hidrográficas del cantón, utilizadas principalmente para actividades agrícolas y en el sector ganadero.

El problema empeora ya que en el último año la población del sector ha presentado casos agravantes de salubridad, en especial los niños con cuadros infecciosos que obviamente son causados por la acumulación de las aguas residuales generadas.

Por este motivo, es indispensable desarrollar un sistema de tratamiento para estos vertidos producidos en el sector, brindando una solución a este problema que atenta contra la salud pública y produce daños ambientales al entorno, cumpliendo con lo establecido en la normativa ambiental legal vigente.

El presente proyecto contribuirá sobremanera a mejorar el nivel de vida de los habitantes, en lo que se refiere al campo de salud ambiental, al igual que beneficiará ecológicamente al sector.

### **1.3. Línea Base del Proyecto**

Chaquishca se ubica en la parroquia urbana Guanujo a 5 km al noreste de la cabecera cantonal del cantón Guaranda, vía al complejo turístico “Lago las cochas”, se trata de un sector con gran crecimiento poblacional ya que en el año 2012 ha sido declarado suelo urbano motivo por el que existen nuevas urbanizaciones que se encuentran en desarrollo.

En la Figura 1-1 que representa el mapa urbano del cantón Guaranda se puede apreciar la localización de Chaquishca junto a la cabecera parroquial de Guanujo. Podemos definir las zonas de mayor expansión urbana de color anaranjado entre las cuáles sobresale Chaquishca al norte y Vinchoa al sur de Guaranda, antagónicamente, representadas en color verde, se ubican las zonas de suelo no urbanizable, que pueden ser quebradas, laderas, riveras que deben ser declaradas zonas protegidas ya sea porque generan inconvenientes de riesgo o son de interés ambiental (UEB, 2013, p. 21).



**Figura 1-1:** Mapa urbano del cantón Guaranda  
**Fuente:** UEB, 2013

Chaquishca cuenta con límites urbanos definidos, encontramos así al este el sector denominado Chalata, al sur con el sector negroyaco y la zona del parque industrial, al oeste con la cabecera parroquial de Guanujo y el sector Alpachaca y al norte con el sector Ibilligagua y la zona rural de Guaranda.

Chaquishca tiene las siguientes características:

**Altitud:** Presenta una media de 2780 msnm.

**Temperatura:** Su temperatura promedio anual es de 16 °C, en verano su temperatura media es de 18°C y en invierno tiene una temperatura media de 13 ° C.

**Extensión:** Tiene una superficie total de 193,58 ha

**Orografía:** Chaquishca se encuentra en un pequeño valle de la parroquia Guanujo que conjuntamente con Guaranda y San Simón conforman los tres valles principales de la zona

interandina del cantón, ya que en la mayoría de sectores la región presenta un relieve accidentado

**Hidrografía:** El caudal hídrico que recorre por Chaquishca se origina en ciénagas o terrenos pantanosos al norte del sector y de los deshielos del Chimborazo. En el sector Chaquishca encontramos dos fuentes hídricas importantes; el río Quinua-Corral y el río Guaranda, los mismos que marcan los límites del sector. El río Quinua-Corral alimenta el caudal del río Guaranda, el cual a su vez vierte su flujo hacia el río Chimbo.

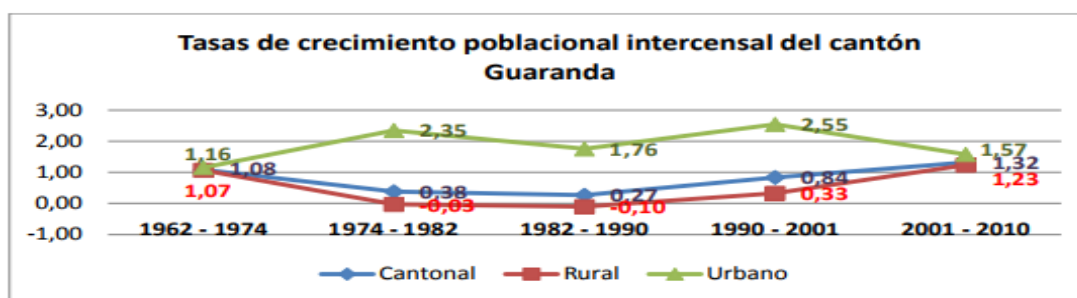
**Población:** El sector cuenta con una población de 743 habitantes, con un menor porcentaje de hombres representando un valor de 48 % y las mujeres con 52 %.

El sector representa una localización perfecta para nuevos asentamientos poblacionales por lo mismo, se espera un aumento considerable de habitantes en Chaquishca y al existir aumento del índice poblacional también se incrementará la generación de residuos sólidos y líquidos, los cuales al momento son vertidos directamente al cauce del río Guaranda, sin previo tratamiento, aumentando su contaminación.

### ***1.3.1. Situación Demográfica***

Según los datos intercensales, obtenidos desde el año 1962, el cantón Guaranda se caracteriza por una población que crece lentamente, manteniéndose una mayor tasa de crecimiento en la zona urbana.

Como se observa en el Gráfico 1-1 los puntos más elevados de crecimiento poblacional en el cantón se dieron en los periodos del año 1974 a 1982 y de 1990 al 2001; según investigaciones se determinó que en el primer periodo, el aumento poblacional, se debió a la existencia de una mejor movilidad ya que sucedió la construcción de la carretera asfaltada Guaranda-Ambato. En el segundo periodo el crecimiento poblacional se debió a la creación de la Universidad Estatal de Bolívar que sirvió de imán de atracción de la población rural y aledaña al casco urbano (UEB, 2013, p. 14).



**Gráfico 1-1:** Tasas de crecimiento poblacional por períodos intercensales del cantón Guaranda  
Fuente: UEB, 2013.

La parroquia Guanujo ha sido esencial en relación al crecimiento poblacional del cantón Guaranda. Hace varios años considerada parroquia rural, desde el 2000 se entroniza como una parroquia urbana, esto por la expansión presentada hasta alcanzar la parte urbana del cantón.

Fue en la década de los 90, donde se catapultó la población guanujeña, por lo ya mencionado, la creación de la Universidad Estatal de Bolívar, misma que se ubica en esta parroquia. Por este motivo ha sido clave en el ámbito demográfico del cantón.

Según el INEC 2010 en la parroquia Guanujo existen 3.85 habitantes por vivienda. Para efectos prácticos, se ha investigado más a fondo acerca de la población del sector de estudio, por lo que se ha determinado mediante información proporcionada por el GADM de Guaranda que la población de Chaquishca en la actualidad es de 743 habitantes con una tasa de crecimiento general de 1,57%.

En la tabla 1-1 se muestra los sectores con mayor expansión urbana dentro del cantón Guaranda, como se observa Chaquishca y Vinchoa son los dos sectores con la mayor cantidad de habitantes y tienden a convertirse en grandes zonas de expansión por el área que ocupan.

**Tabla 1-1:** Sectores de las zonas de expansión urbana del cantón Guaranda

SECTOR	ÁREA (HA)	POBLACIÓN (2010)	VIVIENDA (2010)	DENSIDAD POBLACIONAL	DENSIDAD VIVIENDA
Chaquishca	193,58	656	164	3,4	0,8
Vinchoa	119,05	761	174	6,4	1,5
Casipamba	74,02	329	77	4,4	1,0
El Aguacoto	112,18	653	155	5,8	1,4

Fuente: INEC, 2010; UEB, 2013.

Realizado por: Miguel Pilco, 2017

### ***1.3.2. Componente Económico***

El sector Chaquishca se ha expuesto como un territorio eminentemente agrícola de lo cual una parte de la producción se destina al consumo familiar y el excedente es comercializado como una manera de obtener ingresos por parte de los habitantes del sector. Además cuenta con grandes extensiones de pastizales para la alimentación de semovientes.

La comercialización de los productos se lo realiza en mayor porcentaje mediante intermediarios, que representan el 70% de la producción, mientras que el restante 30% se lo hace directamente al consumidor.

Los principales productos que se generan en el sector son el ganado bovino con doble propósito (leche y carne), ganado ovino, cerdos, cuyes y aves. Los cultivos que se producen son la papa y los granos y cereales andinos como la lenteja, arveja, cebada, maíz y trigo (GADMG, 2011).

Varios habitantes del sector también se dedican a la actividad forestal, destacándose la explotación del Pino en la parte alta de la parroquia Guanujo. Otra fuente de ingreso de la parroquia es la producción de quesos, panela y licor artesanal. En el sector no existe únicamente personas dedicadas al trabajo de campo, la otra cara económica la representan los habitantes con un mayor poder adquisitivo, que buscan lugares alejados del centro urbano para edificar sus viviendas. Es por eso que en la actualidad nos encontramos con una locación que se ha ido poblando con habitantes catalogados dentro de la “clase media alta”. Otro aspecto importante que se debe mencionar es que a día de hoy se encuentran en etapas de estudio futuras urbanizaciones ya que evidentemente por el crecimiento poblacional la parte urbana del Cantón Guaranda ha ido consumiendo las zonas rurales específicamente hacia el norte de la ciudad.

### ***1.3.3. Componentes Ambientales***

Por su clima y topografía el sector cuenta con grandes recursos naturales entre ellos suelos con gran capacidad productiva y varias fuentes de agua. No obstante, la calidad de los recursos, especialmente el agua, presentan problemas considerables que ocasionan problemas ambientales como consecuencia de los asentamientos humanos principalmente. Además, la débil capacidad de manejo, la falta de concientización, la quema de pajonales, sobrepastoreo, causan un deterioro significativo de los recursos naturales (GADMG, 2011).

El perímetro noreste del sector Chaquishca se encuentra rodeado por un bosque de neblina, característico de las colinas de la Cordillera Occidental. Se extiende desde los 1120 a 3000



msnm con temperaturas entre 11 a 18° C. Este sector tiene un valor entre 1700 y 2200 mm de precipitaciones. Los árboles pueden llegar a medir hasta 30m de altura y se encuentran colonizados por musgos y por vegetación epífita.

En la zona central de Chaquishca, al encontrarse topográficamente en la hoya del río Chimbo, existe una gran cantidad de quebradas pantanosas motivo por el cual la vegetación nativa de la zona es de aspecto húmedo. Predomina, en la zona este de Chaquishca, la muy conocida totora, planta acuática utilizada en la fitodepuración y para la elaboración de artesanías por los habitantes del sector.

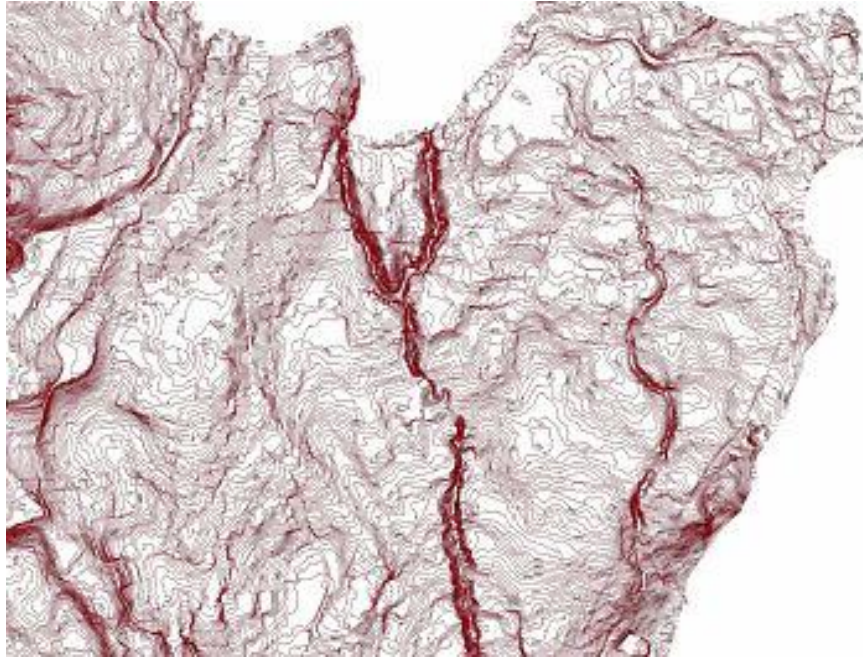
Aparte de la generación de aguas residuales y su posterior descarga al río Guaranda, son dos las amenazas ambientales principales que presenta el sector, una de ellas el pastoreo extensivo e intensivo que daña la vegetación y remueve el suelo superficial, otra amenaza es la antigua practica de quema de pajonal o pastizal, la cual al no ser selectiva afecta a toda la vegetación.

#### ***1.3.4. Topografía del sector***

En todo proyecto de dimensionamiento, sea este de un sistema de agua potable, sistema de alcantarillado o sistema de tratamiento de aguas residuales, es indispensable conocer la topografía del sector de estudio, con el fin de beneficiar a toda la población del proyecto a implantarse, por ello se ha recabado información topográfica de Chaquishca, enfocándonos en las curvas de nivel que presenta la región.

Las curvas de nivel son un conjunto de líneas paralelas separadas entre sí por una distancia definida y con un valor que representa la elevación de una determinada área en relación al nivel del mar. Estas curvas nos permiten conocer el relieve del sector y de esa manera determinar si toda la población de Chaquishca se beneficiará del sistema de tratamiento.

En la Figura 2-1 se observa las curvas de nivel de Chaquishca. Se puede apreciar claramente que en las zonas donde existe acumulación de curvas son lugares donde existen quebradas. Observamos que existe dos acumulaciones de curvas en el lado izquierdo de la gráfica; se trata de los dos riachuelos hacia donde se descarga el agua residual de la comunidad. Al observar el lado derecho de la ilustración, de igual manera, pero en menor proporción, existe una acumulación de curvas de nivel la misma que representa el río quinua-corrall anteriormente mencionado.



**Figura 2-1:** Curvas de nivel de Chaquishca  
Fuente: Medina, 2017

En la Figura 3-1 se observa con mayor claridad las curvas de nivel en el sector, gracias a este gráfico podemos darnos cuenta que todo el centro poblado de Chaquishca está en condiciones de beneficiarse del sistema de tratamiento para las aguas residuales que generan.



**Figura 3-1:** Curvas de nivel sobre el mapa de Chaquishca  
Fuente: Medina, 2017.

### ***1.3.5. Estado actual de descarga del agua residual***

La totalidad de las aguas residuales generadas en la comunidad son descargadas directamente a riachuelos formados en dos quebradas ubicadas en Chaquishca. Gracias a la información brindada por el Ingeniero Patricio Medina, Técnico de Gestión de Riesgos del GADM de Guaranda, una de las quebradas se ubica al oeste de Chaquishca, sin un nombre definido; la otra quebrada ubicada en el sector este se denomina quebrada Suru huaycu, las mismas que cuentan con un punto de unión en la comunidad Rumiloma - Suru Huaycu perteneciente a Chaquishca, donde formarán aguas abajo la quebrada Negro yaco que desemboca en el río Guaranda, sin recibir ningún tipo de tratamiento previo con la finalidad de reducir su carga contaminante.

Según información brindada por el Sr Miguel Llumitaxi, presidente de la comunidad, las dos quebradas mencionadas se forman a partir de ciénagas localizadas en los límites del sector, la quebrada oeste, inicia en los terrenos del Sr. Edmundo Jiménez y la quebrada este en los terrenos del Sr. Nicanor Pérez, terrenos que limitan con el sector de 4 esquinas también perteneciente a la parroquia Guanujo. Desde el límite de Chaquishca los riachuelos ubicados en estas quebradas hacen un recorrido por el sector donde los hogares aprovechan para verter sus aguas residuales directamente, generando un problema ambiental ya que estos riachuelos culminan su recorrido en el río Guaranda.

A partir de este diagnóstico inicial se recomienda elaborar lo más pronto posible el estudio de un sistema de tratamiento para las aguas residuales generadas en el sector, para de ese modo eliminar todo tipo de contaminación que existe en el sector, ya que el río Guaranda es la principal arteria fluvial del cantón homónimo.

### ***1.3.6. Métodos y Técnicas***

#### ***1.3.6.1. Métodos***

Para la realización de este proyecto se ha tomado en cuenta el uso de tres métodos, a saber, inductivo, deductivo y experimental, mismos que nos permitirán conocer los principales contaminantes que requieren de un adecuado proceso de tratabilidad para remediar los problemas ambientales y lograr un correcto diseño de un sistema de tratamiento para estas aguas residuales.

**Inductivo:** Se trata de un método experimental que nos permite, para casos prácticos de este estudio, obtener valores iniciales para su posterior realización. Gracias a este método podemos obtener datos reales de los contaminantes presentes en las aguas residuales generadas en Chaquishca, datos que cobran mucha importancia ya que nos permitirán conocer el mejor proceso de tratamiento para estas aguas. Esto se logra mediante la caracterización primaria de las aguas residuales producidas en el sector.

**Deductivo:** Es el camino lógico para buscar la solución a los problemas que nos planteamos (Cegarra, 2012, p. 82). En este método nos concentramos en buscar una solución a partir de los datos iniciales, obtenidos en la caracterización físico-química y microbiológica de las aguas residuales generadas en Chaquishca. Este es uno de los puntos medulares de nuestro estudio ya que aquí buscaremos la mejor solución posible al problema que se nos presente.

**Experimental:** Este método abarca todo lo relacionado a los procesos realizados en el laboratorio desde la caracterización primaria, donde obtendremos los datos iniciales para comparar con la normativa establecida por la respectiva autoridad de control ambiental, pasando por las pruebas de tratabilidad, que tienen como objeto brindar la solución al problema ambiental que existe y, al final, la validación del estudio mediante una nueva caracterización que nos permitirá comprobar el cumplimiento de la normativa ambiental. Este método hace uso de materiales, instrumentos y técnicas específicas para este tipo de estudio.

#### *1.3.6.2. Técnicas*

Es un conjunto de normas y procedimientos a seguirse para que el estudio sea considerado correctamente funcional ya que nos brindará resultados específicos y precisos a donde queremos llegar para efectos prácticos de nuestro proyecto.

Las técnicas usadas en el siguiente proyecto en orden cronológico de metodología son, NTE INEN 2176:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO, para la correcta toma de muestras, la norma NTE INEN 2169:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS, para el correcto transporte y conservación de nuestras muestras. Para la caracterización se hará uso de los métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21° EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21° EDICIÓN.

### 1.3.7. Determinación del Caudal

La determinación del caudal se llevó a cabo durante los meses junio y julio con la ayuda del Ingeniero Hernán Borja, técnico de la Secretaría Nacional del Agua. Durante estos meses se presentó un gran volumen de precipitaciones, motivo por el cual existe un aumento del caudal.

Las mediciones se realizaron mediante el método volumétrico con un balde de 10 litros de capacidad, durante todos los días de la semana. Los horarios elegidos para la determinación del caudal fueron de 06h00 a 07h00, 12h00 a 13:00, 18:00 a 19:00, mismas que han sido consideradas como horas pico, periodo en el que existe un mayor consumo de agua.

En las siguientes tablas se recogen los datos obtenidos durante los meses de medición de caudal.

**Tabla 2-1:** Aforación del caudal del agua residual durante el mes de junio

JUNIO							
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
	CAUDAL Q (L/s)						
06:00 a 07:00	3,12	3,45	3,28	3,89	3,32	4,19	2,92
12:00 a 13:00	4,18	3,77	3,02	3,72	4,07	4,64	3,95
18:00 a 19:00	3,63	3,86	3,36	3,75	3,91	3,98	3,68
PROMEDIO	3,64	3,69	3,22	3,79	3,77	4,27	3,52
CAUDAL PROMEDIO MENSUAL (L/s)							3,70

Realizado por: Miguel Pilco, 2017

**Tabla 3-1:** Aforación del caudal del agua residual durante el mes de julio

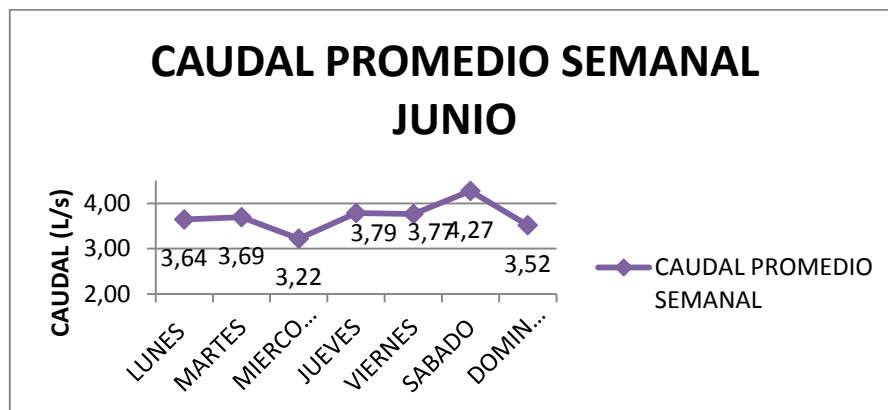
JULIO							
HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO	DOMINGO
	CAUDAL Q (L/s)						
06:00 a 07:00	3,08	3,56	3,13	3,71	2,97	4,02	3,04
12:00 a 13:00	3,72	3,42	3,37	3,95	3,25	4,24	3,12
18:00 a 19:00	3,25	3,93	3,46	3,54	4,01	3,95	3,45
PROMEDIO	3,35	3,64	3,32	3,73	3,41	4,07	3,20
CAUDAL PROMEDIO MENSUAL (L/s)							3,53

Realizado por: Miguel Pilco, 2017

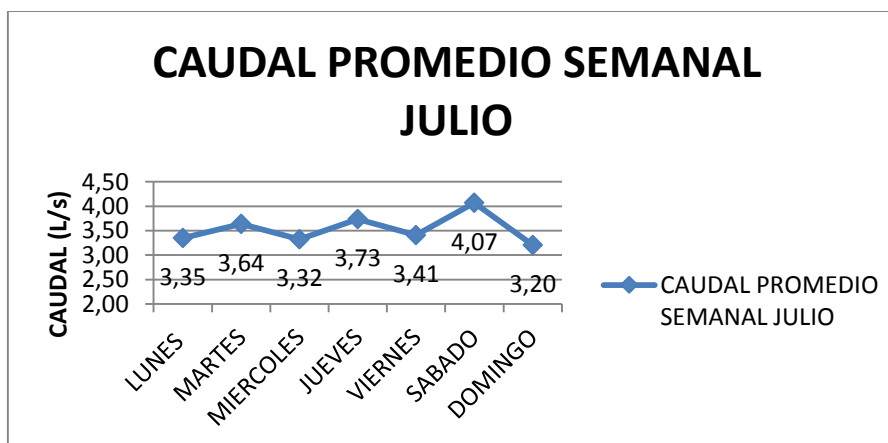
**Tabla 4-1:** Aforación promedio de caudal durante junio y julio

MES	CAUDAL (L/s)
JUNIO	3,70
JULIO	3,53
PROMEDIO	3,62

Realizado por: Miguel Pilco, 2017



**Gráfico 2-1:** Variación del caudal durante el mes de junio  
Realizado por: Miguel Pilco, 2017



**Gráfico 3-1:** Variación del caudal durante el mes de Julio  
Realizado por: Miguel Pilco, 2017

### 1.3.8. Muestreo

Las técnicas de muestreo que debemos utilizar dependerán directamente del tipo de análisis a efectuar. Así, para evaluar la calidad del agua, podemos hacer uso de muestras simples y muestras compuestas.

Una muestra simple, se trata de una muestra única y puntual, es decir, en un solo lugar y en un momento específico, es una muestra representativa solo de ese instante. Las muestras compuestas, son las más recomendadas, ya que consisten en una serie de muestras individuales recogidas en un periodo determinado tomando como referencia el caudal. (Spellman, 2003).

En el presente estudio se realizaron muestras simples recogidas manualmente en iguales horarios de determinación del caudal, es decir, en horas pico. A partir de las muestras simples se obtiene una muestra compuesta, necesaria para los análisis requeridos.

Las muestras fueron recolectadas en frascos estériles y debidamente etiquetadas con un código, fecha, lugar, hora, nombre del muestreador y tipo de muestra. Según las recomendaciones del laboratorio de servicios ambientales de la UNACH se trabajó con un volumen de muestra compuesta de 3,78L.

### 1.3.9. *Análisis y Caracterización del agua residual*

La caracterización primaria, a partir de la muestra compuesta, se realizó en el laboratorio de servicios ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo, mediante los métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21° EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21° EDICIÓN .

#### 1.3.9.1. *Parámetros caracterizados*

**Tabla 5-1:** Caracterización inicial del agua residual

PARAMETROS	UNIDAD	NORMA TULSMA Lím. Máx. Permisible	Muestra Caracterizada
pH	[H+]	.....	7,33
Conductividad	µS/cm	.....	367
Tensoactivos	mg/l	0,5	0,34
Aceites y Grasas	mg/l	30,0	*34
Color real	Upt-co	Inapreciable en dilución: 1/20	59
Turbiedad	FTU-NTU	.....	60,15
Sólidos Suspendidos	mg/l	130	*147
Sólidos Totales	mg/l	1600	592
DQO	mg/l	200	*233
DBO5	mgO <sub>2</sub> /l	100	*153
Fósforo Total	mg/l	10,0	0,32
Sulfatos	mg/l	1000	46
Hierro Total	mg/l	10,0	2,3
Nitrógeno Total	mg/l	50,0	19
Coliformes Fecales	UFC/100ml	2000	*7800
Coliformes Totales	UFC/100ml	.....	12000

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH, 2017

Realizado por: Miguel Pilco, 2017

\*Parámetros fuera de norma

#### **1.4. Beneficiarios Directos e Indirectos**

##### ***1.4.1. Directos.***

- La población del Sector “Chaquishca”, Parroquia Guanujo, Cantón Guaranda.

##### ***1.4.2. Indirectos.***

- Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Guaranda.
- Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guaranda EP-EMAPA-G



## **CAPITULO 2**

### **2. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

#### **2.1. Objetivo General**

Diseñar un Sistema de Tratamiento para las Aguas Residuales generadas en el sector “Chaquishca”

#### **2.2. Objetivos Específicos**

- Realizar la caracterización física, química y microbiológica del agua residual que se genera; bajo la norma general para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce del libro VI TULSMA, ANEXO I, TABLA 9.
- Identificar los parámetros que se encuentran fuera de la normativa del TULSMA y las variables del proceso para el diseño.
- Efectuar pruebas piloto de tratabilidad, para determinar el tratamiento adecuado.
- Realizar los cálculos de ingeniería para el dimensionamiento de la planta de tratamiento.
- Validar técnicamente el diseño propuesto para el sistema de tratamiento de aguas residuales, bajo la norma general para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce del libro VI TULSMA, ANEXO I, TABLA 9.
- Estimar costos que demanda el estudio técnico del diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales.

## CAPITULO 3

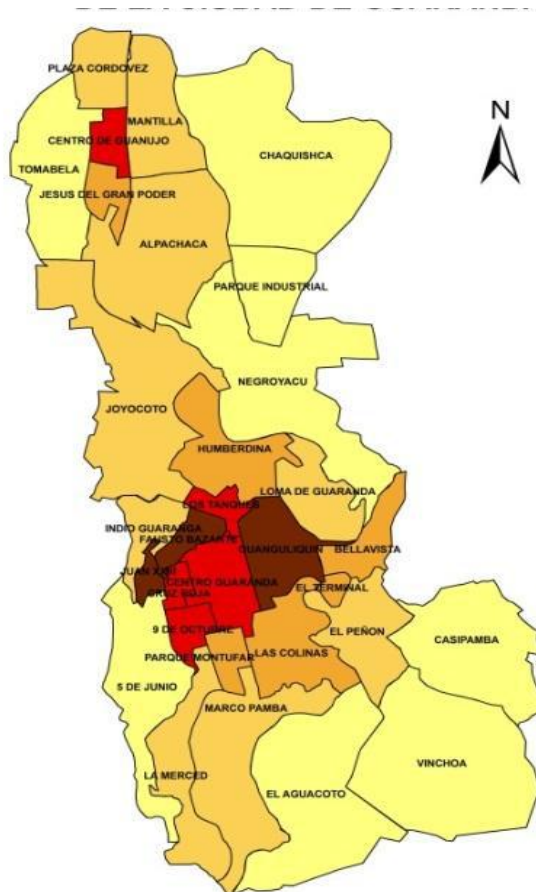
### 3. ESTUDIO TÉCNICO

#### 3.1. Localización del Proyecto

En el capítulo 1, como parte de la línea base, se definió la ubicación del sector de estudio pero resaltaremos los aspectos más importantes a tomarse en cuenta para la implementación del sistema de tratamiento de las aguas residuales generadas en Chaquishca.

A nivel macro se debe mencionar que el cantón Guaranda, con una altitud media de 2668 msnm, se localiza en la zona central del Ecuador, al noreste de la provincia Bolívar, en la Hoya del Chimbo, motivo por el que presenta una topografía muy irregular, su temperatura media es de 16 °C, variando desde los 2 °C en el páramo hasta los 25 °C en el subtrópico. Posee 1897,80 km<sup>2</sup> de superficie y se halla limitado al norte, por la Provincia de Cotopaxi; al sur con los Cantones de Chimbo y San Miguel; al este, las provincias de Tungurahua y Chimborazo; y al oeste, con la Provincia de Los Ríos.

Orientándonos hacia el sector “Chaquishca”, mismo que pertenece a la parroquia Guanujo, señalamos que se ubica al noreste del Cantón Guaranda, a 5 km del centro de la ciudad, ocupando una superficie de 193,58 Ha, en la que se asientan alrededor de 200 familias que representan en la actualidad 743 habitantes. En el año 2012 el GADM de Guaranda ha declarado suelo urbano al sector y conjuntamente con el sector de Vinchoa son los lugares que presentarán mayor proyección de expansión en el cantón.



**Figura 1-3:** Localización de Chaquishca en el cantón Guaranda  
Fuente: UEB, 2013.

El sector optativo definido para la localización del sistema de tratamiento de aguas residuales se encuentra en la parroquia Guanujo, cantón Guaranda. Presenta las siguientes coordenadas UTM, Zona 17M, 722299.00 m E, 9826894.00 m S.

La primera opción que se maneja para el emplazamiento de la PTAR, se muestra en la siguiente imagen. Este sitio es estratégico ya que permitirá transportar las aguas residuales por sistema de gravedad desde las fuentes donde se descarga las aguas residuales del sector, aparte, cuenta con servicios básicos y vía de acceso.



**Figura 2-3:** Localización del Proyecto

Fuente: Google Earth, 2017

## 3.2. Ingeniería del Proyecto

### 3.2.1. Aguas Residuales

Las aguas residuales son todo tipo de efluente con carga contaminante originado en las viviendas, hospitales, industrias, etc. También se trata de aguas pluviales y efluentes de origen agrícola. Históricamente, siempre han representado un problema ambiental, por la carga contaminante que llevan en su composición, especialmente las de tipo industrial.

#### 3.2.1.1. Generación de aguas residuales

Generalmente se puede mencionar que existen cinco fuentes principales encargadas de producir aguas residuales, estas son, desechos humanos y animales, actividades domésticas, industrias, precipitaciones pluviales e infiltraciones de aguas subterráneas (Spellman, 2003, p.551).

#### 3.2.1.2. Clasificación de aguas residuales

**Domésticas:** Se trata de aquellas aguas generadas a partir de actividades domésticas, en este grupo se debe incluir las aguas grises, aquellas que han resultado de las descargas de duchas y lavabos.

**Sanitarias:** También conocidas como aguas negras, son aguas con residuos sólidos y líquidos, generados principalmente por humanos. Aunque también se las puede introducir dentro de las aguas domésticas, aquí cabe recalcar que también se trata de aguas con residuos de origen animal.

**Industriales:** Aguas residuales de actividades industriales, en este grupo se ubican las aguas que contienen material más contaminante como ejemplo, metales pesados.

**Pluviales:** Contiene todas las aguas generadas por precipitaciones y escorrentías que arrastran arena, piedras, etc. Debe existir una sola canalización para la recolección de estas aguas.

### 3.2.1.3. *Características de las aguas residuales*

Las características dependen de la composición y del tipo de aguas residuales, es decir, si se tratan de aguas de origen doméstico, industrial, pluvial, sanitarias o de infiltraciones.

#### **a) Domésticas**

**Características Físicas:** Las aguas residuales domésticas presentan un olor característico que recuerda al queroseno, las aguas sépticas o negras por su color, presentan un olor más desagradable al olfato humano, mientras que las aguas residuales frescas, generalmente de color gris, afectan en menor grado al sentido del olfato, ya que son aguas recientes con una cantidad de oxígeno disuelto.

La temperatura de las aguas residuales domésticas, es mayor a la del agua suministrada al domicilio y oscila entre los 10 y 20°C, esto se debe a que en las descargas pueden existir aguas con altas temperaturas, provenientes de las duchas o de la cocina.

Presentan una gran cantidad de sólidos de los cuales aproximadamente la mitad se encuentra como sólidos disueltos generalmente en forma de sales de calcio y sodio. Por cada metro cúbico de aguas residuales existe aproximadamente 500 gramos de sólidos, como se ha dicho la mitad se encuentra disuelto y los otros 250 gramos serán insolubles, de esta cantidad una fracción de 125 gramos de material se separará de las aguas en un periodo de 30 minutos bajo condiciones de reposo los restantes 125 gramos, permanecerán en suspensión, obteniendo así aguas residuales turbias (Mackenzie, 2010, p.774).

**Características Químicas:** En el apartado químico de las aguas residuales aparecen dos términos muy trascendentales en este campo, estos son el DBO y el DQO. El DBO, conocido como la Demanda Bioquímica de Oxígeno, hace referencia a la cantidad de oxígeno necesario por los microorganismos para degradar la materia orgánica presente en el agua. No se debe confundir con la Demanda Química de Oxígeno, la cual también representa la cantidad de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica pero por medios químicos. Es de gran importancia tener presente que siempre el DQO será mayor que el DBO esto debido que habrá mayor cantidad de materia que se oxide por medio químico que por medio biológico.

El nitrógeno total representa la cantidad de nitrógeno orgánico total y amoníaco presentes en las aguas residuales, las aguas residuales contienen nitrógeno debido que se trata de un elemento fundamental para la construcción de células microbianas y para varios procesos celulares.

Otro elemento característico es el fósforo, que se presenta de varias formas, por ejemplo como ortofosfatos, polifosfatos y fosfato orgánico, ellos juntos representan un parámetro de suma importancia conocido como fósforo total.

## **b) Industriales**

Las características que presentan las aguas residuales de origen industriales son un tema muy complejo, esto porque al existir infinidad de industrias que se dedican a diferentes procesos productivos no se tiene parámetros limitados en relación a las aguas generadas en los sectores productivos industriales. Así, en industrias alimenticias la carga orgánica, en el agua residual, será excesivamente elevada. En industrias metalúrgicas los metales pesados serán los principales componentes contaminantes en sus descargas. De igual manera no es de nuestro especial interés este tipo de aguas residuales, ya que el sector donde se desarrolla el presente proyecto no cuenta con ningún tipo de industrias.

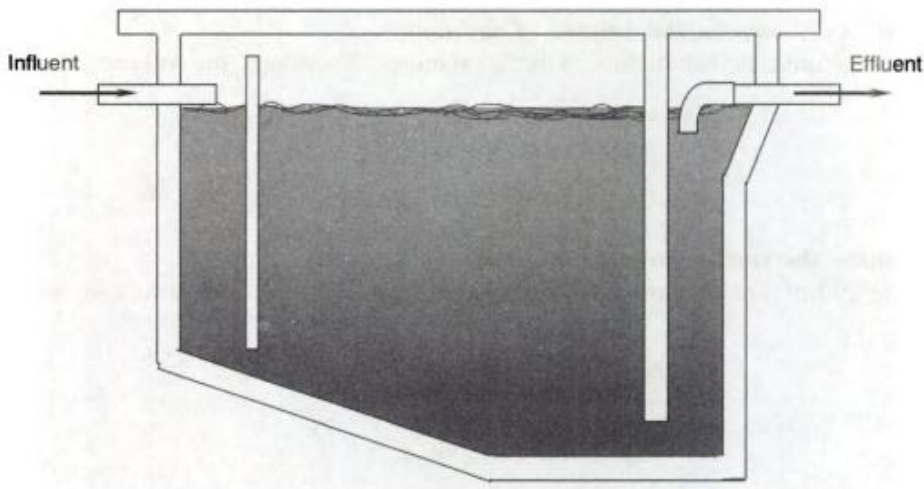
### **3.2.2. Trampa de Grasas**

Las trampas de grasas son tanques de desnatado de aguas residuales que como su nombre lo indica sirven para retener aceites y grasas, además de ciertos materiales flotantes como, restos vegetales, espumas de detergentes, etc. Se trata de un medio de pre tratamiento que generalmente se ubica por delante de un tanque de sedimentación.

Su diseño es necesario para que los materiales más ligeros, como el contenido de grasa y aceite del agua residual, se asciendan a la superficie de las aguas residuales y permanezcan en la parte

superior del líquido hasta que se eliminan, esto debido a las diferencias de densidades de las grasas con el agua. El líquido tratado fluye a través de las salidas provistas debajo de la línea de agua (Karia y Christian, 2006, p.129).

Gracias a la existencia de un tiempo de retención hidráulico, en las trampas de grasas, y por el mismo principio de diferencia de densidades, estos tanques también contribuyen al pretratamiento como pequeños sedimentadores reteniendo un porcentaje de los sólidos en suspensión.



**Figura 3-3:** Diagrama esquemático de una trampa de grasas

Fuente: Karia y Christian, 2006.

En la Figura 3-3 se puede observar un diagrama de una trampa de grasas; el afluente ingresa por la parte superior del tanque que cuenta con dos pantallas para evitar que se escape el material flotante hacia el efluente. De igual manera consta de un desnivel en la parte inferior con la finalidad de lograr sedimentar la mayor cantidad de sólidos suspendidos presentes en el agua residual. La tubería de salida se encuentra a nivel inferior de la tubería de entrada con el propósito de captar el agua libre de grasas.

#### 3.2.2.1. Criterios de diseño

El diseño de trampas de grasas está regido en base al tiempo de retención y tomando en consideración el área de superficie como se indica a continuación:

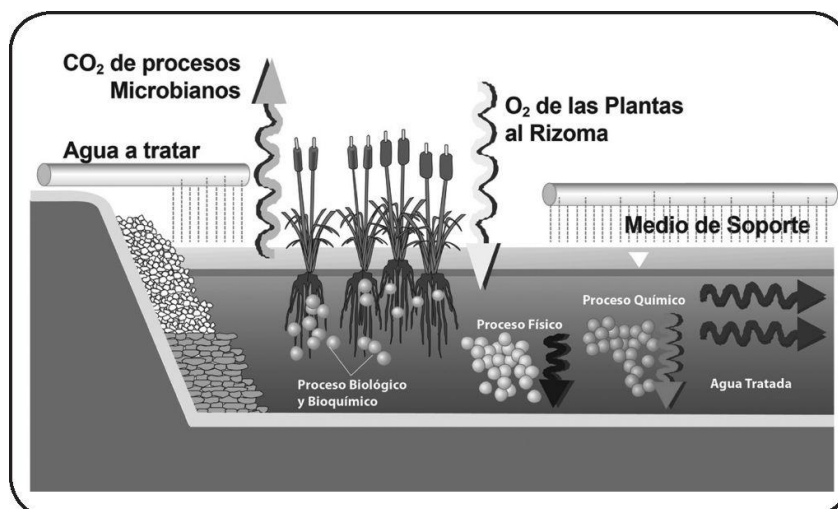
- Tiempo de retención: 3 minutos para caudales bajos y hasta 30 minutos para caudales demasiado grandes.

- Área superficial: Se debe considerar que el tanque debe tener 250 m<sup>2</sup> por cada m<sup>3</sup> de flujo de agua residual. Para el caso de nuestro caudal se especificará 0,25 m<sup>2</sup> por cada litro de agua.

### 3.2.3. Humedales artificiales

En la actualidad la fitodepuración de aguas residuales ha cobrado gran interés como medio de tratamiento para los vertidos. Es aquí donde intervienen los humedales artificiales como un medio económico y eficiente para este proceso. Se fundamentan en el desarrollo de un cultivo de macrofitas o plantas acuáticas enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado. La tarea de las macrofitas consiste en realizar una sucesión de interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual afluyente es depurada progresiva y lentamente (Delgadillo et al., 2010, p.7).

Los humedales pueden ser considerados como reactores biológicos ya que son sistemas complejos e integrados de agua, plantas, animales, microorganismos y el medio ambiente. Todos los humedales tienen una característica y es que tienen agua superficial o cerca de su superficie, por ello se debe considerar los parámetros hidráulicos, resaltando que los humedales son de flujos lentos, aguas poco profundas y/o sustratos saturados. Estas características contribuyen a sedimentar partículas sólidas a medida que el agua recorre por el humedal. Estos flujos lentos proporcionan tiempos de contacto prolongados entre el agua y la vegetación del humedal.



**Figura 4-3:** Proceso de depuración de aguas en los Humedales Artificiales  
Fuente: Sánchez, 2011.



Casi todos los humedales sostienen un crecimiento denso de plantas macrofitas adaptadas a condiciones saturadas. Esta vegetación ralentiza el agua, crea microambientes dentro de la columna de agua y proporciona sitios confortables para la comunidad microbiana.

### *3.2.3.1. Componentes de los Humedales Artificiales*

#### **- Agua a tratar**

Se trata del agua residual generada en el área de estudio, esta puede ser de origen doméstico, industrial o pluvial, dependiendo de la actividad realizada a partir de la que se genera la descarga. Es de suma importancia contar con una saturación de agua ya sea superficial o que se encuentre cercana a la superficie. Gracias a las interacciones, que se suceden en el humedal, el agua residual será depurada obteniendo un efluente de mejor calidad.

Se debe tener en cuenta que la hidrología es el factor de diseño más importante en un humedal ya que al existir pequeños cambios en las propiedades hidrológicas puede verse realmente afectado el funcionamiento del humedal. De igual manera al existir una gran área superficial del agua, esta actuara de manera interactiva con el entorno ya que existirá precipitaciones y en contraposición también se dará procesos de evaporación, las dos actividades deberían contribuir al equilibrio del sistema. La densidad de vegetación es otro de los factores que afecta los parámetros hidráulicos del humedal, al existir mayor volumen de vegetación se obstruye el camino del flujo de agua a través del sistema (Lara, 1999, p.6).

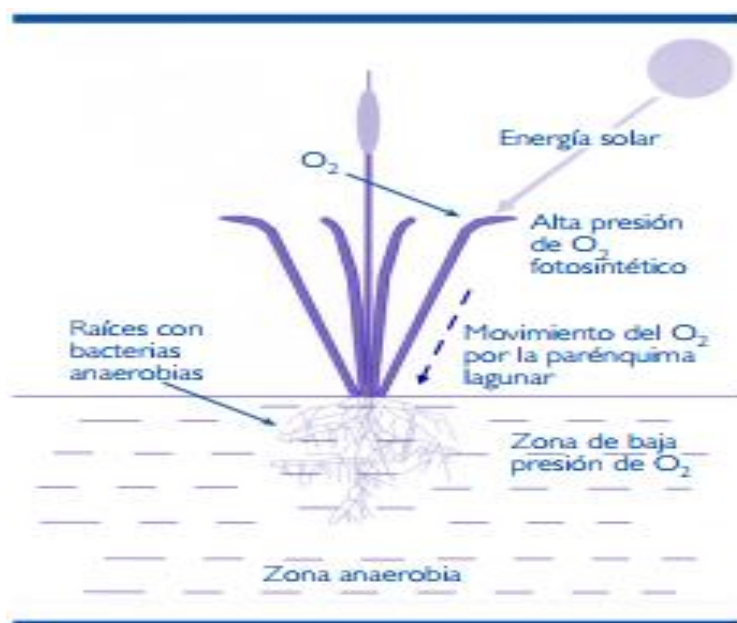
#### **- Sustrato**

El Sustrato es otro componente importante de un humedal, consta de generalmente de arena, grava, que actúan como medio filtrante, también se compone de sedimentos, restos de vegetación, humus, que conjuntamente pueden ser denominados como un tipo de turba que de similar manera podría actuar como un filtro.

El sustrato permitirá la fijación de la vegetación a utilizarse en el humedal, se establecerá qué sustrato utilizar dependiendo del humedal a construirse. Contribuirá a la formación de biopelículas de microorganismos que operaran en la mayoría de procesos de descontaminación del agua.

## - Vegetación

La vegetación cumple las funciones más importantes del humedal dado que es la responsable de suministrar oxígeno al sustrato, captar los nutrientes y también contribuyendo a la formación de biopelícula microbiana.



**Figura 5-3:** Esquema del proceso de aireación en un humedal  
Fuente: Fernández et al., 2000.

**Tabla 1-3:** Características de especies emergentes más utilizadas en el tratamiento de aguas

Familia	Nombre común	Nombre científico	Temp. °C	Rango efectivo de pH	Salinidad tolerable, ppt
Ciperáceas	-	<i>Carex sp.</i>	14 – 32	5 – 7,5	20
	.	<i>Eleocharis sp.</i>			
	Totora	<i>Scirpus</i>	10 – 30	4 – 9	
Gramíneas	Hierba del maná	<i>Glyceria fluitans</i>	12 – 23	2 – 8	45
	Carrizo	<i>Phragmites australis</i>			
Iridáceas	Lirio amarillo, espadaña fina	<i>Iris pseudacorus L.</i>			
Juncáceas	Juncos	<i>Juncus sp.</i>	16 – 26	5 – 7,5	20
Tifáceas	Eneas, aneas, espadañas	<i>Typha sp</i>	10 – 30	4 – 10	30

Fuente: Lara, 1999.

Realizado por: Miguel Pilco, 2017

### **- *Microorganismos***

Son los encargados de realizar el tratamiento biológico. En la superficie del humedal, donde predomina el oxígeno liberado por las raíces de las plantas y el oxígeno proveniente de la atmósfera, se desarrollan colonias de microorganismos aerobios. En el resto del lecho granular predominarán los microorganismos anaerobios. Los principales procesos que llevan a cabo los microorganismos son la degradación de la materia orgánica, la eliminación de nutrientes y elementos traza y la desinfección (Arias, 2004).

Los microorganismos presentes en los humedales son: bacterias, levaduras, hongos y protozoarios. Estos microorganismos consumirán una gran cantidad de carbono y nutrientes. De la misma manera, gracias a los procesos biológicos, muchas sustancias contaminantes se convertirán en gases que serán liberados hacia la atmósfera (Lara, 1999, p.16).

#### **3.2.3.2. *Tipos de Humedales Artificiales***

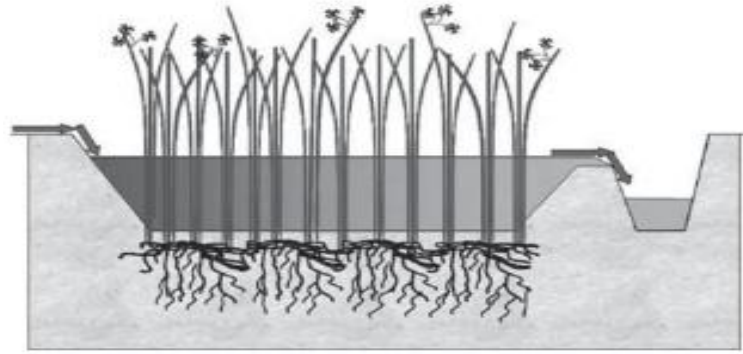
Los humedales artificiales pueden ser de dos tipos; Humedal de flujo superficial (HFS) y Humedal de flujo Subsuperficial (HFSS)

##### ***Humedal de Flujo Superficial (HFS)***

Son aquellos humedales en los que el agua a tratar fluye libremente por los tallos de una vegetación densa, cuyo espejo de agua generalmente tiene una profundidad de 50 cm. En estos tipos de humedales el agua al estar en contacto directo con la atmósfera procura la oxigenación que le brinda la misma.

En este tipo de humedales el sustrato que da fijeza a la vegetación tiene una mínima conductividad hidráulica motivo por el que no existe un gran flujo de agua en esta zona lo que limita el contacto del agua con las raíces, es por ello que la mayoría de interacciones descontaminantes se llevan a cabo en la superficie lo que motiva a restringir su uso en la depuración de aguas muy contaminadas debido a que no tiene una buena eficiencia de eliminación.

Los sistemas de flujo superficial también son denominados sistemas de flujo libre y son los que más se asemejan a los humedales naturales es por ello que son usados para la depuración de aguas pre-tratadas, aguas de escorrentía o para la recuperación de ecosistemas acuáticos.



**Figura 6-3:** Humedal de flujo superficial  
Fuente: Delgadillo et al., 2010.

### ***Humedal de Flujo Subsuperficial (HFSS)***

Es por antonomasia el correcto humedal artificial, se trata de un sistema en el que el agua a tratar circula bajo la superficie del sistema, en un lecho granular. Se caracteriza por la composición del sustrato ya que generalmente se lo construye con un medio poroso de arena y grava que fija la vegetación contribuyendo al enraizamiento de la misma, lo que permite el contacto entre el agua residual y los rizomas y raíces de las plantas.

Este tipo de sistemas ocupan un menor espacio que los humedales de flujo libre ya que aumenta su profundidad, llegando a lograr una altura de hasta 1 m dependiendo de las características de las macrofitas. Al cimentar su vegetación en un lecho filtrante permitirá una gran conductividad hidráulica que contribuirá a un mejor tratamiento de las aguas residuales, por esto, se trata del tipo de sistema más utilizado para depurar el agua residual.

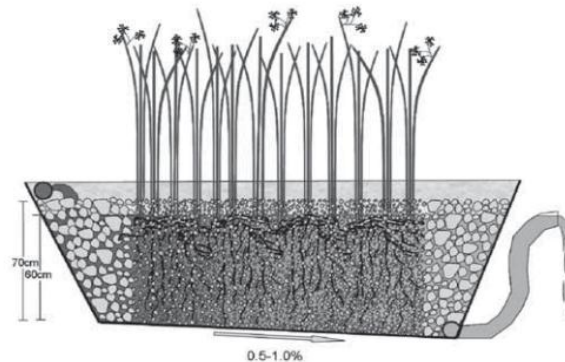
Dependiendo de la forma de distribución del agua a tratar en el humedal de flujo subsuperficial, este se divide en:

#### ***a. Humedales Subsuperficiales de flujo horizontal***

Es el más utilizado en la actualidad; en este sistema el agua fluye horizontalmente y en forma continua a través de un lecho formado por arena, grava y tierra, elementos que sujetan la vegetación del humedal. El sustrato se asienta en una membrana impermeable con la finalidad de evitar filtraciones hacia el suelo.

El agua a tratar se alimentará en la parte superior del humedal y fluirá lateralmente a través de un medio poroso. Al inicio y final, del ingreso del agua, se colocará grava de mayor tamaño con la finalidad de evitar estancamiento del líquido y se trabajará con una pendiente en el humedal

para contribuir al movimiento del flujo, la tubería de salida se ubicará en la parte inferior del humedal. Estas y otras consideraciones de diseño se detallarán más adelante.

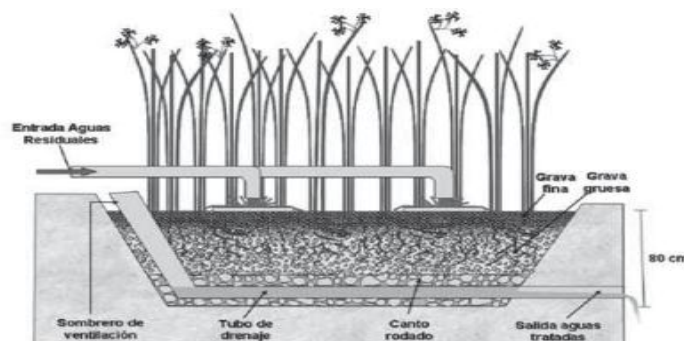


**Figura 7-3:** Humedal subsuperficial de flujo horizontal  
**Fuente:** Delgadillo et al., 2010.

#### *a. Humedales Subsuperficiales de flujo vertical*

Este sistema se caracteriza porque el agua a tratar es alimentada hacia el humedal de manera intermitente, creando así periodos de insaturación que contribuirán a mejorar la eficiencia de la oxigenación.

También llamados filtros intermitentes, este tipo de humedales recibe las descargas de agua en forma vertical, es decir de arriba hacia abajo, de ahí su nombre. La distribución de agua se realiza mediante un sistema de tuberías que descarga el agua residual en diferentes puntos del humedal de manera vertical, infiltrándose esta en el medio poroso formado por arena y grava. La recolección de agua para la salida del humedal se logra mediante un sistema de drenajes que enviarán el agua depurada hacia el exterior del humedal.

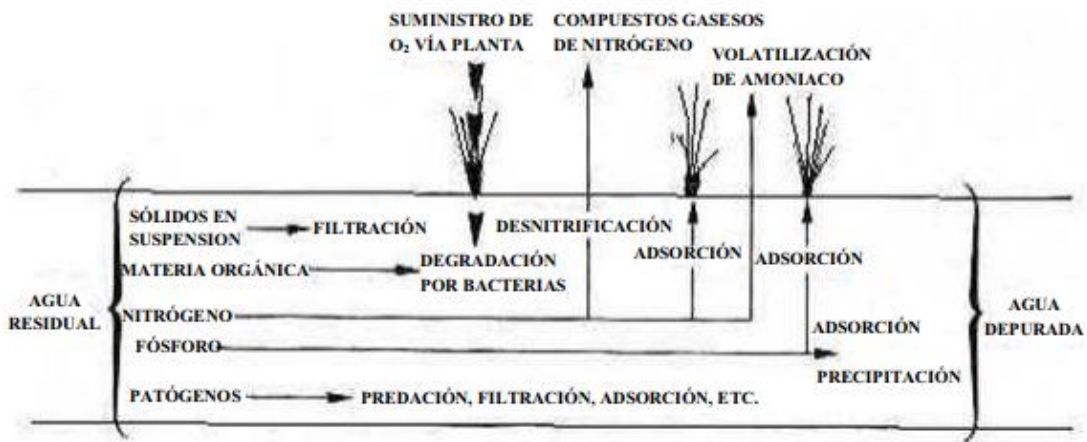


**Figura 8-3:** Humedal subsuperficial de flujo vertical  
**Fuente:** Delgadillo et al., 2010, p.7

### 3.2.3.3. Remoción de contaminantes

Los humedales artificiales son muy efectivos al tratar varios contaminantes entre los que se incluye: sólidos suspendidos, nitrógeno, fósforo, materia orgánica, microorganismos patógenos y metales. Esto se logra gracias a procesos de filtración, adsorción, interacciones microbiológicas y por captación de la vegetación. (Hammer, 1989)

En la siguiente figura se puede apreciar los procesos que se llevan a cabo en un humedal y que tienen como finalidad lograr una eficiente depuración de las aguas residuales.



**Figura 9-3:** Procesos de depuración de los humedales artificiales

Fuente: Lara, 1999.

- *Remoción de materia orgánica*

En los humedales la remoción de materia orgánica es relativamente rápida, logrando una disminución del 50% de materia orgánica en los primeros metros del humedal. Tanto en humedales de flujo libre como en humedales de flujo subsuperficial se produce una DBO5 adicional debido a la descomposición vegetal que se produce en el humedal, es por esto que nunca existirá un efluente tratado con una concentración menor a 7 mg/L de DBO5. (EPA, 1993)

En los humedales artificiales existen zonas con presencia o ausencia de oxígeno, por ello los procesos de degradación de materia orgánica puede ocurrir como procesos biológicos aerobios o anaerobios. En los humedales de flujo superficial predomina el tratamiento aeróbico, en este sistema la aportación de oxígeno se da por efectos de la aireación provocada por el viento; mientras que en los humedales de flujo subsuperficial impera el tratamiento anaeróbico, ya que se trata de un sistema saturado de agua, desplazando los gases atmosféricos de los poros, creando así un sustrato anóxico que favorece a las bacterias anaeróbicas. (Sánchez, 2011)

Tanto en los HFS como en los HFSS, se da una gran aportación de oxígeno gracias al proceso de fotosíntesis que realiza la vegetación emergente y las microalgas desarrolladas en el humedal; es por ello que se debe evitar una vegetación demasiado densa para minimizar los efectos de sombra y así contribuir al desarrollo de estos organismos fotosintéticos.

Por lo mencionado se asume que la remoción de materia orgánica se realiza de manera simultánea por procesos aeróbicos y anaeróbicos, siendo muy complicado cuantificar la proporción en que se producen cada uno de ellos. (CENTA, 2010)

- *Remoción de sólidos suspendidos*

La remoción de sólidos suspendidos es muy eficiente, tanto en los sistemas de flujo libre como los sistemas de flujo subsuperficial, logrando obtener efluentes con concentraciones menores a 20 mg/L. La eficiencia de remoción de SS es similar a la de DBO<sub>5</sub>, logrando alcanzar la mayor parte de remoción en los primeros metros del sistema, específicamente entre el 12 y 20 % del área inicial del humedal, mediante procesos de sedimentación y filtración. (EPA, 1993)

Los sólidos sedimentados o retenidos en el sustrato se someten a reacciones de biodegradación realizadas por los microorganismos y por la vegetación. Este proceso se acelera en la época de verano gracias al aumento de temperatura.

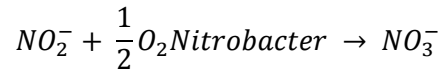
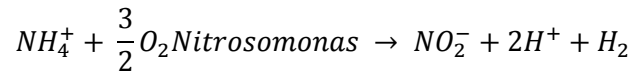
- *Remoción de Nitrógeno*

El uso de humedales es una alternativa muy eficiente al momento de remover el nitrógeno presente en el agua residual. En los dos tipos de humedales la remoción se realiza de manera efectiva y mediante mecanismos similares. La remoción de nitrógeno en humedales puede fácilmente alcanzar valores por encima del 80%. (Lara, 1999)

Una de las vías de eliminación de nitrógeno es la asimilación de este elemento por las plantas, lo que representa el 15 o 20% de remoción de nitrógeno. Para evitar que el nutriente asimilado por las plantas regrese al agua por procesos de degradación de la biomasa vegetal se requiere realizar la poda y retiro de la vegetación.

La nitrificación y desnitrificación son los dos procesos más importantes para la eliminación de nitrógeno. El primero se realiza gracias a bacterias nitrosomonas que oxidan el nitrógeno

amoniaco a nitritos y a bacterias nitrobacter que oxidan los nitritos a nitratos, produciendo las siguientes reacciones:



Para que se produzca la nitrificación es fundamental que exista concentraciones de oxígeno por encima de 1mg/L. En los HFSS este aporte de oxígeno se logra mediante las raíces de la vegetación.

Para que se complete el proceso de eliminación de nitrógeno del agua es necesaria una etapa de desnitrificación, realizada por bacterias facultativas heterótrofas. Este proceso se realiza en dos etapas, en la primera se reduce el nitrato a nitrito para posteriormente reducirse a formas gaseosas de nitrógeno que serán liberadas hacia la atmósfera (óxido nítrico, óxido nitroso y nitrógeno gaseoso). (CENTA, 2010)



- *Remoción de Fósforo*

La remoción de fósforo en humedales no es tan significativa lográndose una asimilación por parte de las plantas del 10% de su concentración y entre otros procesos se puede lograr la eliminación del 15 al 30%. Para aumentar el porcentaje de remoción de fósforo sería necesario usar un sustrato filtrante específico de arcilla que contenga hierro, aluminio y calcio. (Hammer, 1989)

- *Remoción de metales*

Los metales pesados como: mercurio, cadmio, zinc, cobre, cromo, plomo, etc., son removidos mediante procesos de filtración, sedimentación, adsorción, asimilación por parte de las plantas. (EPA, 1993) El HFSS y el HFS tienen la misma capacidad de retención de metales, misma que no varía durante el periodo de funcionamiento del sistema.



- *Remoción de Coliformes*

La remoción de estos patógenos se logra mediante procesos de adsorción de la superficie del sustrato pero sobre todo por la acción de microorganismos bacteriófagos y protozoos. Estas acciones removedoras, al tratarse de sistemas de flujo pistón, siguen una cinética de primer orden, por ello en la mitad del recorrido del agua por el humedal ya se ha logrado una remoción del 80% de coliformes, en épocas cálidas. (Sánchez, 2011)

Al presentarse lluvias intensas los picos de caudal influyen negativamente en el proceso de remoción, para evitar este inconveniente es necesario aumentar el tiempo de retención.

#### 3.2.3.4. *Criterios de diseño*

##### ***Aspectos térmicos***

Es indispensable conocer la temperatura del agua residual y la temperatura del medio, ya que este aspecto afecta las actividades físicas y biológicas de los humedales. Condiciones de bajas temperaturas por largos períodos que conlleven a la formación de hielo en el humedal, podrían culminar en caso extremo, a la falla física del humedal. (Lara, 1999)

Se ha comprobado que la remoción de DBO no se ve afectada por la temperatura, mientras que en temperaturas bajas críticas, la remoción de nitrógeno disminuye. Con temperaturas menores a 10 °C disminuye mínimamente la efectividad del humedal con ciertos parámetros pero se compensa mediante el aumento del tiempo de remoción.

Al momento de dimensionar el humedal es indispensable el uso del factor de corrección de temperatura propuesto por Delfino Francia, ya que al trabajar con temperaturas entre 4 y 20 °C se recomienda trabajar con un factor de corrección de 1,135 y para temperaturas de 20 a 30 °C se deberá usar el valor de 1,056 como factor de corrección.

##### ***Pendiente***

Para humedales de flujo libre es recomendable trabajar con una pendiente de 0,5% o pendientes menores a este valor, al contrario para humedales de flujo subsuperficial se recomienda trabajar con pendientes que oscilen entre 0,5% y 1%.

### ***Sustrato***

Como sustrato se utiliza arena y grava. La capa de arena se ubica en la parte inferior con la finalidad de evitar perforaciones en la membrana impermeable que podrían ser causadas por el lecho pedregoso.

En humedales de flujo subsuperficial el medio poroso se compondrá de dos tipos de grava que varíen en tamaño, así para la zona de amortiguamiento que se ubica a la entrada y a la salida del humedal se trabajará con grava de diámetro que oscile entre 50 mm a 100 mm, esto con el objetivo de evitar atascamientos y una mejor distribución del flujo. La zona de plantación debe estar formada por grava de un solo diámetro con valores que oscilen entre los 3 mm a los 40 mm.

### ***Vegetación***

La vegetación a utilizarse en el humedal debe ser nativa del sector en el que se implementará la PTAR para mejor adaptabilidad o bien puede tratarse de una especie que sea colonizadora activa.

## ***3.2.4. Parámetros Hidrogeológicos de Diseño de Humedales***

### ***3.2.4.1. Ley de Darcy***

Un humedal artificial de flujo subsuperficial se comporta como un ambiente saturado de agua en el que el movimiento de flujo se da en un medio poroso. La ley de Darcy describe y estudia este tipo de movimiento en un medio saturado, de tal forma que para el diseño del humedal artificial se hará uso de varios aspectos que rigen esta ley, y por este motivo se ha considerado y analizado en el laboratorio la porosidad, conductividad hidráulica, velocidad de flujo y granulometría del medio en el que trabajará nuestro humedal.

La ley de Darcy puede definirse como:

$$Q = K_s * A_{st} * \frac{\Delta h}{\Delta l}$$

**Donde:**

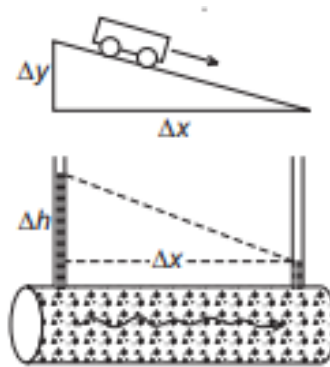
**Q:** Caudal que circula por una sección transversal; m<sup>3</sup>/s

$K_s$ : Conductividad hidráulica; m/s

$A_{st}$ : Área de la sección transversal;

$\frac{\Delta h}{\Delta l}$ : Gradiente hidráulico; m/m

El gradiente hidráulico que presenta una determinada sección, no es otra cosa que la pendiente con la que trabajará el sistema a fin de crear un movimiento de fluido hacia la salida del medio, por efecto de la gravedad.



**Figura 10-3:** Gradiente hidráulico  
Fuente: Sánchez, 2016.

#### 3.2.4.2. Porosidad ( $n$ )

La porosidad se define como la fracción de espacios vacíos que contiene un sólido en relación a su volumen total, es por estos espacios vacíos, llamados poros, por donde se dará la circulación de un fluido (Custodio y Llamas, 1983, p. 449).

La porosidad puede ser definida de dos términos, ya sea como porosidad total o como porosidad efectiva. Al enfocarnos en un medio saturado de agua (humedal), es de nuestro especial interés la porosidad total ya que hace referencia al volumen total del sólido y en un humedal, el volumen total del sólido estará rodeado de agua.

**Tabla 2-3:** Porosidad Total de diversos materiales

Material	Porosidad Total		
	Mínima	Máxima	Media
Gravas	0,25	0,40	0,30
Arenas	0,20	0,45	0,35
Suelos	0,30	0,60	0,50

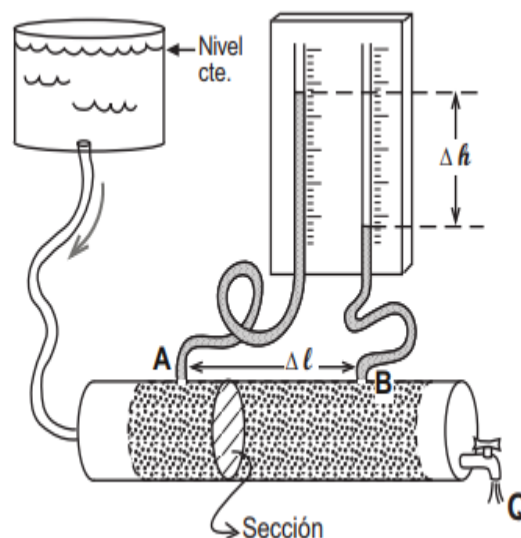
Fuente: Custodio y Llamas, 1983

Realizado por: Miguel Pilco, 2018

### 3.2.4.3. Conductividad Hidráulica ( $K_s$ )

La conductividad hidráulica representa la capacidad de un medio poroso para permitir el paso de un fluido. La determinación de este parámetro nos permite conocer la velocidad de flujo en un medio saturado y al momento del diseño de nuestro sistema nos permitirá determinar el área transversal que ocupará nuestro humedal. Al relacionarla con la Ley de Darcy es preciso mencionar que la conductividad hidráulica es directamente proporcional a la velocidad de flujo generada en el medio poroso.

Para la determinación de la conductividad hidráulica en un medio poroso se hace uso de la Ley de Darcy y de un instrumento llamado permeámetro el mismo representado en la siguiente figura.



**Figura 11-1:** Permeámetro de carga constante  
Fuente: Sánchez, 2016.

A partir de la Ley de Darcy se determina la conductividad hidráulica mediante la siguiente ecuación:

$$K_s = \frac{Q}{A_{st} * \frac{\Delta h}{\Delta l}}$$

**Donde:**

$K_s$ : Conductividad hidráulica (m/s)

$Q$ : Caudal ( $m^3/s$ )

$A_{st}$ : Área de la sección transversal (m<sup>2</sup>)

$\Delta h / \Delta l$ : Gradiente hidráulico (m/m)

#### 3.2.4.4. Velocidad de Darcy ( $q$ ) y Velocidad Real de Flujo ( $v$ )

La velocidad de Darcy es otra de las interpretaciones de la ley de Darcy. Esta velocidad tiene una relación volumen/tiempo/área y se calcula mediante el producto de la conductividad hidráulica y el gradiente hidráulico.

$$q = K_s * \frac{\Delta h}{\Delta l}$$

**Donde:**

$q$ : Velocidad de Darcy; m/s

$K_s$ : Conductividad hidráulica; m/s

$\Delta h / \Delta l$ : Gradiente hidráulico; m/m

La velocidad real de flujo representa la relación distancia/tiempo en que recorrerá un fluido por un medio poroso. Esta velocidad es inversamente proporcional a la porosidad del medio y directamente proporcional a la velocidad de Darcy y se calcula de la siguiente manera:

$$v = \frac{q}{n}$$

**Donde:**

$v$ : Velocidad real de flujo (m/s)

$q$ : Velocidad de Darcy (m/s)

$n$ : Porosidad del medio

**Tabla 3-3:** Velocidad Darcy Horizontal

TIPO DE MATERIAL	q (m/s)
ARENA	5,75E-05
GRAVA	2,06E-04
TIERRA	5,42E-06

Realizado por: Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH, 2018

**Tabla 4-3:** Velocidad Darcy media

TIPO DE MATERIAL	q (m/s)
Lecho filtrante	8,96E-05

Realizado por: Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH, 2018

**Tabla 56-3:** Velocidad de Flujo Horizontal

TIPO DE MATERIAL	v (m/s)
ARENA	1,38E-04
GRAVA	6,34E-04
TIERRA	1,03E-05

Realizado por: Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH, 2018

**Tabla 6-3:** Velocidad de Flujo Horizontal media

TIPO DE MATERIAL	v (m/s)
Lecho filtrante	2,61E-04

Realizado por: Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH, 2018

#### 3.2.4.5. Granulometría

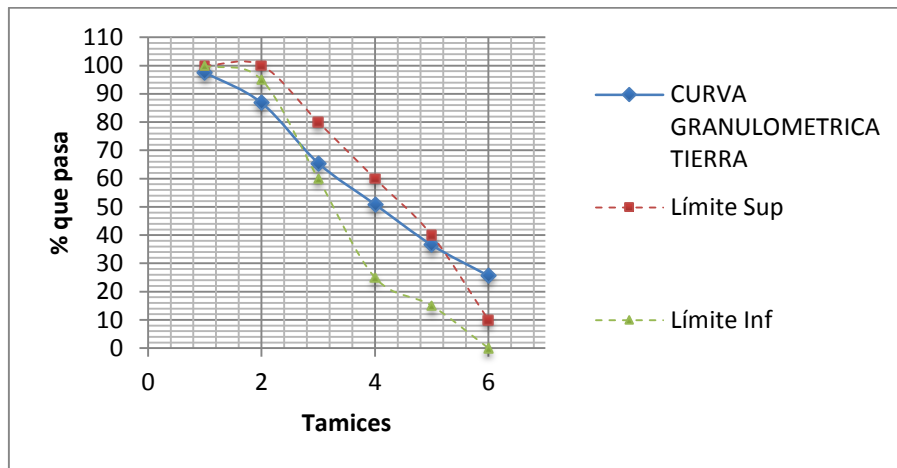
Permite determinar la distribución del tamaño de las partículas de un medio poroso. Conocer el tamaño de grano del sustrato de un humedal nos permitirá predecir el enraizamiento de la vegetación en el medio ya que en tamaños de 3 mm a 12 mm existe una mejor fijación de las raíces, lo que contribuye a la presencia de oxígeno en la zona superior del sustrato.

Es imprescindible utilizar un sustrato de tamaño homogéneo para una mejor compactación de las capas con el fin de minimizar la intromisión de una capa en otra.

**Tabla 7-3:** Análisis Granulométrico de Arena

Tamiz	Tamiz	Dimensión (mm)	Masa retenida (g)	% retenido	% ret acum	% que pasa	Límite Sup	Límite Inf
1	16	2.18	312.00	62.40	62.40	37.60	100.00	100.00
2	20	0.850	153.00	30.60	93.00	7.00	100.00	95.00
3	30	0.6	11.00	2.20	95.20	4.80	80.00	60.00
4	40	0.425	4.00	0.80	96.00	4.00	60.00	25.00
5	50	0.30	2.00	0.40	96.40	3.60	40.00	15.00
6	60	0.250	0.50	0.10	96.50	3.50	10.00	0.00
7	100	0.15	2.00	0.40	96.90	3.10	5.00	0.00
8	Bandeja		11.00	2.20	99.10	0.90	0.00	0.00
	<b>TOTAL</b>		<b>495.5</b>	99				

Realizado por: Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH, 2018

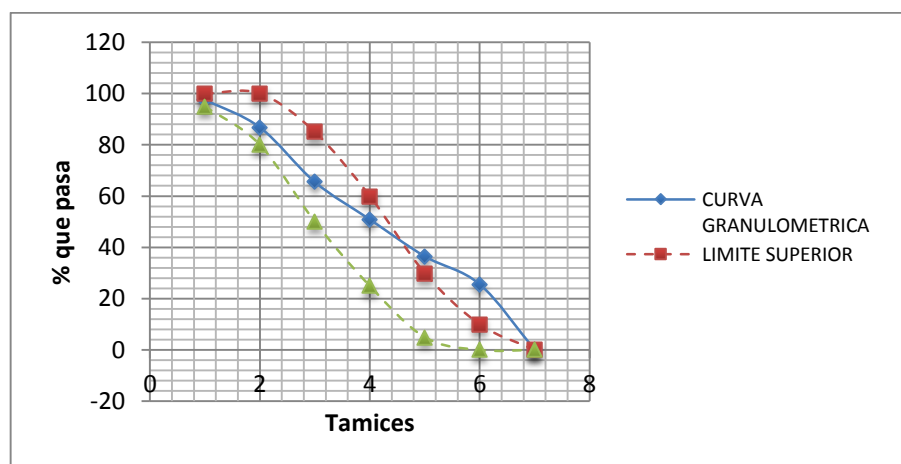


**Gráfico 1-3:** Curva Granulométrica de Arena  
**Realizado por:** Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH, 2018

**Tabla 7-3:** Análisis Granulométrico de Tierra

Tamiz	Tamiz	Dimensión mm	Masa retenida	% retenido	% ret acum	% que pasa	Límite Sup	Límite Inf
1	No 4	4.75	24.00	2.40	2	98	100	95
2	No 8	2.36	108.00	10.80	13	87	100	80
3	No 16	1.18	213.00	21.30	35	66	85	50
4	No 30	0.60	146.00	14.60	49	51	60	25
5	No 50	0.30	144.00	14.40	64	37	30	5
6	No 100	0.15	109.00	10.90	74	26	10	0
7	Bandeja		255.00	25.50	100	0	0	0
	<b>TOTAL</b>		999.00	99.90				

**Realizado por:** Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH, 2018

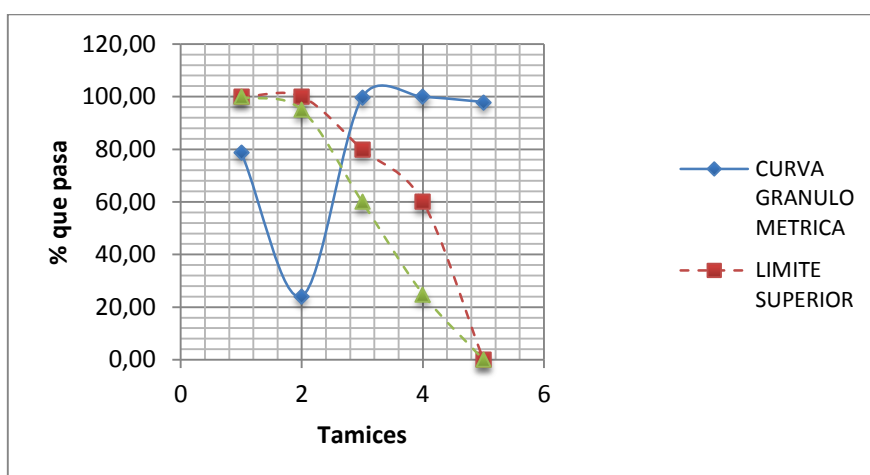


**Gráfico 2-3:** Curva Granulométrica de Tierra  
**Realizado por:** Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH, 2018

**Tabla 8-3:** Análisis Granulométrico de Grava

Tamiz	Tamiz	Dimensión mm	Masa retenida	% retenido	% ret acum	% que pasa	Límite Sup	Límite Inf
1	3/8"	9.50	106.0	21	21	79	100	100
2	4	4.75	379.0	76	76	24	100	95
3	8	2.36	1.0	0	0	3	80	60
4	16	1.18	0.5	0	0	2	60	25
8	Bandeja		10.0	2	2	0	0	0
	<b>TOTAL</b>		<b>496.5</b>	<b>99</b>				

Realizado por: Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH, 2018



**Gráfico 3-3:** Curva Granulométrica de Grava

Realizado por: Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH, 2018

**Tabla 9-3:** Tamaño efectivo de Partículas

Material	Tamaño efectivo (mm)
Arena	2
Grava	9
Tierra	4

Realizado por: Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH, 2018

### 3.2.5. Pruebas Piloto de Tratabilidad

#### 3.2.5.1. Índice de Biodegradabilidad

El índice de biodegradabilidad es la relación que existe entre la DBO5 y la DQO y nos da una primera idea para determinar el tipo de tratamiento que se brindará a nuestra agua residual y así aplicarlo de una manera más óptima con el fin de disminuir la carga contaminante de esta agua.



La relación DBO5/DQO indica la biodegradabilidad de las aguas urbanas.

**Tabla 11-3:** Índice de Biodegradabilidad

<b>DBO5/DQO</b>	<b>Biodegradabilidad</b>	<b>Tratamiento adecuado</b>
> 0,4	Muy biodegradable	Tratamiento Biológico
0,2 – 0,4	Biodegradable	Sistema Combinad
< 0,2	Poco biodegradable	Físico - Químico

**Realizado por:** Miguel Pilco, 2017

A continuación en base a los resultados obtenidos de la caracterización inicial, Tabla 7-1, haciendo uso de los valores de DBO y DQO, se obtendrá el índice de biodegradabilidad.

**Tabla 12-3:** Concentración de DBO5 y DQO en el agua residual sin tratar

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>	<b>Límite máx. perm.</b>
DBO5	mg/l	153	100
DQO	mg/l	233	200

**Fuente:** Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH, 2017

**Realizado por:** Miguel Pilco, 2017

$$\text{Índ. de Biodegradabilidad} = \frac{DBO5}{DQO}$$

$$\text{Índ. de Biodegradabilidad} = \frac{153}{233}$$

$$\text{Índ. de Biodegradabilidad} = 0,66$$

El índice de biodegradabilidad nos da un valor mayor a 0,4 que nos indica que la descomposición biológica ocurre de manera rápida y que la muestra presentará una gran eficiencia al tratamiento biológico.

Los valores obtenidos en la Tabla 5-1 de la muestra caracterizada, establece los siguientes parámetros fuera de norma; aceites y grasas, DBO, DQO, sólidos suspendidos y coliformes fecales. Para disminuir la carga contaminante de esta agua residual se ha optado por probar diferentes tipos de tratabilidad para establecer la más conveniente y económica para la posterior implementación.

Entre los procesos de tratamiento aplicados al agua residual de Chaquishca el más conveniente fue el uso de humedales artificiales, para lo cual se realizó una planta piloto, en base a cálculos

de dimensionamiento con un volumen de 30 litros de agua residual, para establecer la eficiencia de este medio de tratabilidad. El objetivo primordial de simular el proceso consistía en reducir la carga orgánica presente en el agua residual y sólidos suspendidos.

Para reducir la cantidad de aceites y grasas de las aguas residuales se optó por la realización de una trampa de grasas la misma que cumplió con el objetivo requerido.

#### 3.2.5.2. *Trampa de grasas*

Se elaboró una trampa de grasas a escala de laboratorio, con la finalidad de eliminar aceites, grasas y espumas presentes en el agua residual. Las dimensiones usadas en la trampa de grasas son 0,65 m; 0,3 m y 0,2 m; largo, ancho y profundidad respectivamente. Se trabajó con un volumen de 35L de agua residual con un tiempo de retención de 3 minutos; tiempo especificado por el RAS 2000. Con este tiempo de retención también se logrará la operación de sedimentación en un pequeño porcentaje.

Se elimina manualmente los aceites y grasas presentes en el agua residual y se procede a enviar el agua residual desnatada al humedal artificial para su tratamiento mediante el uso de macrófitas en este caso las totoras (*Scirpus c.*).



**Figura 4-3:** Trampa de Grasas usada en la tratabilidad  
Realizado por: Miguel Pilco, 2017

#### 3.2.5.3. *Humedal artificial*

Para las pruebas de tratabilidad se ha considerado el uso de un humedal de flujo subsuperficial que teóricamente funciona perfectamente en centros poblados de 2000 habitantes, al aumentar la población se debe trabajar con un mayor tiempo de residencia para no perder la eficiencia.

- *Metodología*

a) *Recolección de la Vegetación*

Para simular un humedal lo primero que se realizó fue la recolección de la vegetación a utilizarse, en este caso Totoras (*Scirpus californicus*), perteneciente a la familia de las Ciperáceas. La vegetación fue recolectada del Lago “Las Cochas”, localidad ubicada a 1,5 km de Chaquishca.

b) *Implantación de la Vegetación*

En primer lugar se seleccionó las plantas que contenían un rizoma desarrollado con una longitud de 10 cm o superior y que presentaban brotes de nuevas plantas. La vegetación se trasplantó, ubicando sus raíces a 5 cm bajo la superficie, a un medio con tierra orgánica y un sustrato formado por arena y grava y durante un periodo de un mes se verificó la adaptabilidad y el crecimiento de la planta en el humedal fabricado.

c) *Irrigación*

El riego de las plantas se realizó dos veces por semana, con el agua destinada a ser depurada, esto con la finalidad de adaptar el humedal a las condiciones de operación del sistema.

- *Parámetros constructivos*

Este humedal se realizó con datos obtenidos a nivel de laboratorio, por ello se trabajó con un sustrato de arena y grava con una porosidad de 0,325 y 0,418 respectivamente. Por tratarse de un medio saturado de agua también se debió determinar la porosidad de la tierra obteniéndose un valor de 0,528. El espesor del sustrato y de la tierra en donde fueron plantadas las totoras fue tomado en base a recomendaciones de Hammer (1989), quien exhorta a usar una profundidad que oscile entre 0,60 a 1 m, dividido en dos capas, una de sustrato, que deberá ocupar entre el 60 - 70% de la altura total y una superior, cuyo porcentaje de altura oscile entre el 40 - 30% del total de profundidad. La capa superior debe estar formada de humus (tierra orgánica) o arena gruesa, que servirá de sostén para la vegetación.



**Figura 13-3:** Humedal diseñado para las pruebas de tratabilidad  
Realizado por: Miguel Pilco, 2017

*- Adaptabilidad de la vegetación a las condiciones de trabajo del sistema de tratamiento*

Paralelamente se elaboró un humedal de menores dimensiones pero con la misma metodología del humedal piloto. Este pequeño humedal nos permitía observar detalladamente el crecimiento, enraizamiento en el sustrato y la producción de nuevos brotes de la Totorá en el sistema; gracias a estos parámetros se pudo determinar la adaptabilidad de la vegetación a las condiciones de trabajo.

Como ya se mencionó la observación se realizó durante un período de 30 días, tiempo recomendado por el Programa de Capacitación sobre el manejo de la Totorá, elaborado por la ALT. De igual manera durante ese tiempo el humedal fue alimentado con el agua residual a tratar, con el fin de simular el medio de trabajo al que se someterá la vegetación.

Los valores cuantificados durante el periodo de análisis de adaptabilidad fueron comparados con valores obtenidos en estudios previos para así determinar la factibilidad del sistema con el que se trabajó.



**Figura 14-3:** Humedal diseñado para la observación de la vegetación  
**Realizado por:** Miguel Pilco, 2017

*a) Crecimiento de la vegetación*

Gracias a la observación se determinó que las totoras crecían en un promedio de 7 mm por día y ampliaban su diámetro en 1 - 2 mm cada dos semanas. Al comparar estos resultados con los valores de crecimiento evaluados por la ALT se establece que existe una gran adaptabilidad de la vegetación a las condiciones de trabajo propuesta. En la siguiente tabla se observa los resultados de altura y diámetro, obtenidos durante el mes de observación de la adaptabilidad de la vegetación. Para obtener estos datos se trabajó con tres totoras de diferente altura inicial.

**Tabla 1310-3:** Crecimiento de la Totora en humedal alimentado con agua residual

	Planta 1				Planta 2				Planta 3			
Tiempo (semana)	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Altura (cm)	42	48	54	60	34	39	45	50	30	34	38	43
Diámetro (cm)	0,9	0,95	1	1,2	0,6	0,74	0,9	0,92	0,5	0,54	0,6	0,64

**Realizado por:** Miguel Pilco, 2017

*b) Nuevos brotes producidos*

Se trabajó en la determinación de este parámetro ya que existe estudios realizados por Delgadillo (2010), en el que su humedal, elaborado con totoras, presenta un índice de brotación semanal de 2,3 nuevos brotes por semana; al comparar con el número de brotes obtenidos en

nuestro humedal (7 nuevos brotes), durante el mes de prueba, quedamos satisfechos con el resultado ya que se asemeja al valor determinado por estudios previos.

**Tabla 14-3:** Número de nuevos brotes en un mes

Número de Plantas Sembradas	Número de nuevos brotes
11	7

Realizado por: Miguel Pilco, 2017

*c) Enraizamiento en el sustrato*

El enraizamiento se evalúa por observación, de esta manera nos dimos cuenta que con el sustrato usado se dio una eficiente implantación de la vegetación. En la siguiente figura se observa el enraizamiento de la vegetación en el sustrato.



**Figura 15-3:** Enraizamiento de la vegetación en el sustrato

Realizado por: Miguel Pilco, 2017

*- Pruebas de remoción de contaminantes*

Los humedales de flujo subsuperficial funcionan como reactores de flujo pistón, es así que la disminución de la concentración de contaminantes se estabilizará, generalmente, a partir de los seis o siete días (Fernández et al., 2000), por ello se tomó un período de tres días como tiempo mínimo y seis días como tiempo máximo de retención para evaluar la capacidad depuradora de las Totoras.

En los siguientes apartados se detalla los resultados obtenidos en las pruebas de tratabilidad con la respectiva concentración de carga contaminante del agua residual y su rendimiento.

#### 3.2.5.4. Resultados de pruebas de tratabilidad

**Tabla 1511-3:** Variación de concentración de DBO5 y DQO en el Humedal con Totoras

Tiempo (Días)	Concentración DBO5 (mg/L)	Concentración DQO (mg/L)
0	153	233
3	42	87
7	17	28

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH, 2017

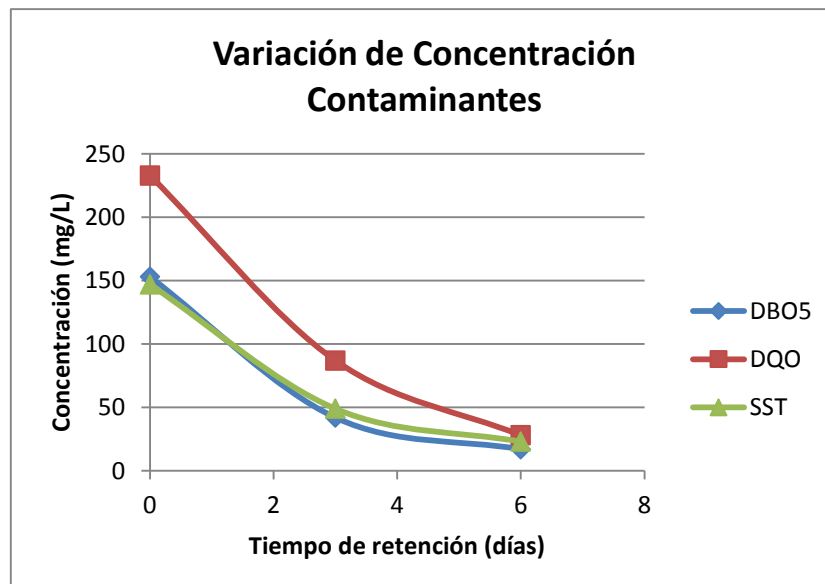
Realizado por: Miguel Pilco, 2017

**Tabla 1612-3:** Variación de SST en el Humedal con Totoras

Tiempo (Días)	Concentración SST (mg/L)
0	147
3	49
7	23

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH, 2017

Realizado por: Miguel Pilco, 2017



**Gráfico 4-3:** Concentración de contaminantes en relación al tiempo

Realizado por: Miguel Pilco, 2017

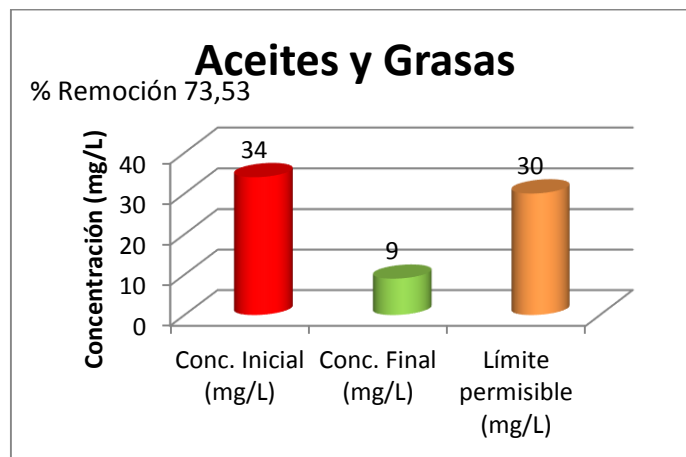
3.2.5.5. Rendimiento de pruebas de tratabilidad

El rendimiento de las pruebas de tratabilidad se fundamenta en el porcentaje de remoción de la carga contaminante presente en el agua residual. Este rendimiento nos permitirá establecer el grado de eficiencia de nuestra propuesta del sistema de tratamiento.

**Tabla 17-3:** Rendimiento de la Trampa de Grasas

Trampa de grasas			
Parámetro	Conc. Inicial mg/L	Conc. Final mg/L	Remoción %
Aceites y Grasas	34	9	73,53

Realizado por: Miguel Pilco, 2017



**Gráfico 5-3:** Remoción de Aceites y Grasas

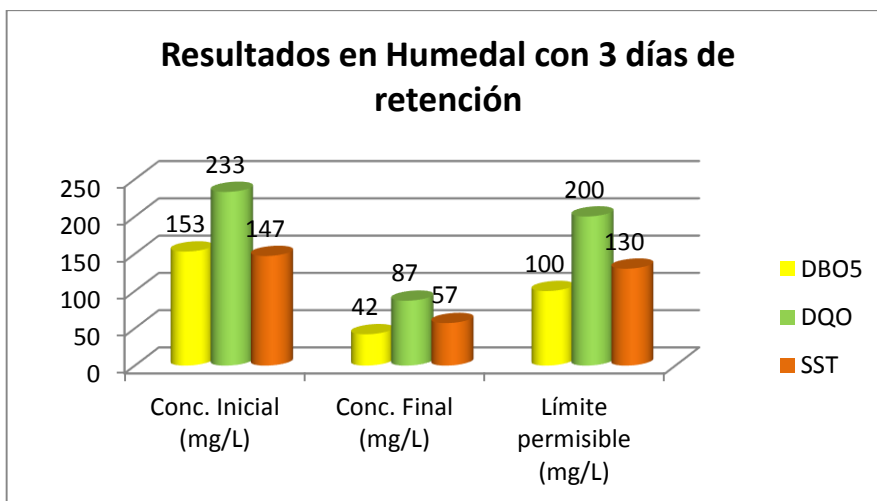
Realizado por: Miguel Pilco, 2017

**Tabla 1813-3:** Rendimiento del Humedal Artificial a los tres días

Humedal Artificial			
Parámetro	Conc. Inicial mg/L	Conc. Final mg/L	Remoción %
DBO5	153	42	72,55
DQO	233	87	62,66
SST	147	57	61,22

Realizado por: Miguel Pilco, 2017



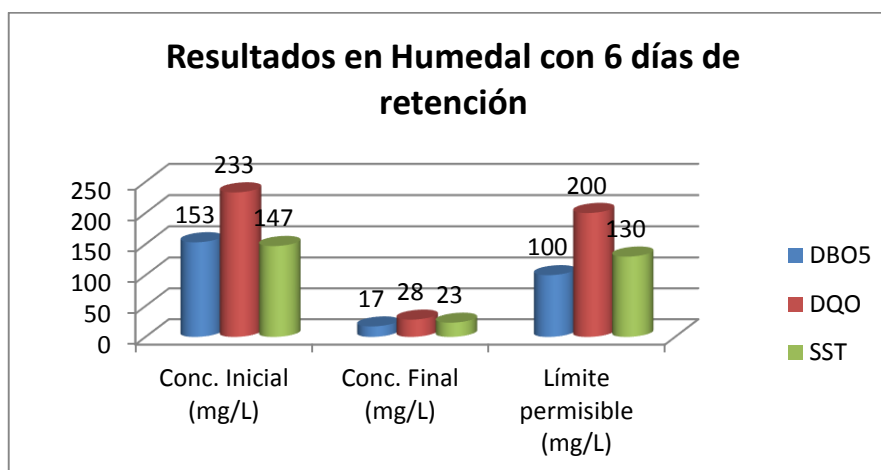


**Gráfico 6-3:** Resultados en pruebas de humedal con 3 días de retención  
Realizado por: Miguel Pilco, 2017

**Tabla 19-3:** Rendimiento del Humedal Artificial a los seis días

Humedal Artificial			
Parámetro	Conc. Inicial mg/L	Conc. Final mg/L	Remoción %
DBO5	153	17	88,88
DQO	233	28	87,98
SST	147	23	84,35

Realizado por: Miguel Pilco, 2017



**Gráfico 7-3:** Resultados en pruebas de humedal con 6 días de retención  
Realizado por: Miguel Pilco, 2017

### 3.2.6. Cálculos de Diseño del Sistema de Tratamiento

#### 3.2.6.1. Población futura

De acuerdo al último censo realizado en el país, el índice de crecimiento del cantón Guaranda es menor al índice nacional y mayor respecto al índice provincial (INEC, 2010). En el cantón Guaranda, las zonas de expansión poblacional se ubican en los sectores de Vinchoa y Chaquishca por lo que el estudio de “Microzonificación Sísmica de la ciudad de Guaranda” fueron recomendadas como sectores para la expansión urbana, por lo mismo el GAD de Guaranda ha declarado suelos urbanos a estos sectores. (GADMG, 2011)

Por ello, el índice de crecimiento poblacional con un valor de 1,57% para suelos urbanos en el cantón Guaranda se tomará en cuenta para los cálculos del presente estudio y se calculará la población futura mediante el método geométrico o exponencial que nos sirve para crecimientos abruptos de población como en este caso Chaquishca.

**Tabla 20-3:** Tasas de crecimiento en la Provincia Bolívar y el Cantón Guaranda

Nivel Territorial	Tasa de Crecimiento (%)
<b>Provincia Bolívar</b>	<b>0,90</b>
Urbano (provincial)	2,02
Rural (provincial)	0,50
<b>Cantón Guaranda</b>	<b>1,32</b>
Urbano (cantonal)	1,57
Rural (cantonal)	1,23

Fuente: INEC, 2010

Realizado por: Miguel Pilco, 2017

- *Cálculo de población actual a partir del último censo, año 2010*

$$Pf = Pa\left(1 + \frac{r}{100}\right)^t$$

**Ecuación 1**

**Donde:**

**Pf:** Población futura; hab

**Pa:** Población actual; 656 hab (Tabla 1-1, año 2010)

$r$  : Índice de crecimiento poblacional; 1,57% (Tabla 20-3)

$t$  : Variación de tiempo; 8 años (2010-2018)

$$Pf = Pa\left(1 + \frac{r}{100}\right)^t$$

$$Pf = 656\left(1 + \frac{1,57}{100}\right)^8$$

$$Pf = 656(1,0157)^8$$

$$Pf = 743,06 \cong 743 \text{ habitantes}$$

- *Cálculo de población para el tiempo de vida útil del proyecto*

$$Pf = Pa\left(1 + \frac{r}{100}\right)^t$$

**Donde:**

**$Pf$** : Población futura; hab

**$Pa$** : Población actual; 743 hab

$r$  : Índice de crecimiento poblacional; 1,57% (Tabla 20-3)

$t$  : Variación de tiempo; 20 años

$$Pf = Pa\left(1 + \frac{r}{100}\right)^t$$

$$Pf = 743\left(1 + \frac{1,57}{100}\right)^{20}$$

$$Pf = 743(1,0157)^{20}$$

$$Pf = 1015 \text{ habitantes}$$

### 3.2.6.2. Caudal de diseño

- ***Dotación de agua consumida.***

El valor de la dotación de consumo diario por habitante en este sector, se la obtendrá de la Tabla 16-3, decidiendo utilizar el valor recomendado por SENAGUA para climas fríos, 150 L/hab\*día.

**Tabla 21-3:** Dotaciones Recomendadas para Cálculos de Diseño

CLIMA DE LA ZONA	DOTACIÓN (L/hab*día)	POBLACIÓN (Habitantes)
Frío	120 – 150	Hasta 5000
Templado	130 – 160	
Cálido	170 – 200	
Frío	180 – 200	5000 a 50000
Templado	190 – 220	
Cálido	200 – 230	
Frío	>200	Más de 50000
Templado	>220	
Cálido	>230	

Fuente: SENAGUA, 2012

Realizado por: Miguel Pilco, 2017

- *Caudal medio,  $Q_m$ :*

$$Q_m = \frac{Cr * P_f * Dc}{86400}$$

**Ecuación 2**

**Donde:**

$Q_m$  : Caudal medio; L/s

$Cr$  : Coeficiente de retorno; 80% según EX-IEOS de 1993

$P_f$  : Población futura; 1015 hab

$Dc$  : Dotación del agua consumida; 150 L/hab\*día

$$Q_{mt} = \frac{0,8 * 1015 \text{ hab} * 150 \text{ L/hab día}}{86400}$$

$$Q_{mt} = 1,41 \text{ L/s}$$

- **Coeficiente de mayorización,  $M$ :**

El coeficiente de Mayorización se seleccionará de acuerdo al número de habitantes. Se asume un valor de 4 si existe una población menor a 1000 habitantes y si la población es mayor a 1000 habitantes se utiliza la siguiente ecuación:

$$M = \frac{4}{\left(\frac{P_f}{1000}\right)^{0,2}}$$

**Ecuación 3**

**Donde:**

**$M$ :** Coeficiente de mayorización; adimensional

**$P_f$ :** Población futura; 1015 habitantes

$$M = \frac{4}{\left(\frac{1015}{1000}\right)^{0,2}}$$

$$M = 3,99$$

- **Caudal mayorado,  $Q_M$ :**

$$Q_M = M * Q_m$$

**Ecuación 4**

**Donde:**

**$Q_M$ :** Caudal mayorado; L/s

**$M$ :** Coeficiente de mayorización; 3,99

**$Q_m$ :** Caudal medio; 1,41 L/s

$$Q_M = 3,99 * 1,41 \text{ L/s}$$

$$Q_M = 5,62 \text{ L/s}$$

- **Caudal de aguas ilícitas,  $Q_i$ :**

Las aguas ilícitas son todas las aguas de escorrentía pluvial que ingresan al sistema de alcantarillado. Para el cálculo de estas aguas utilizaremos la ecuación dada por el EX-IEOS:

$$Q_i = \frac{80 \frac{L}{hab \text{ día}} * P_f}{86400}$$

**Ecuación 5**

**Donde:**

$Q_i$ : Caudal de aguas ilícitas; L/s

$P_f$ : Población futura; 1015 habitantes

$$Q_i = \frac{80 \frac{L}{hab \text{ día}} * 1015 \text{ hab}}{86400}$$

$$Q_i = 0,94 \text{ L/s}$$

- *Caudal de diseño,  $Q_D$ :*

$$Q_D = Q_M + Q_i$$

**Ecuación 6**

**Donde:**

$Q_D$ : Caudal de diseño; L/s

$Q_M$ : Caudal mayorado; 5,62 L/s

$Q_i$ : Caudal de aguas ilícitas; 0,94 L/s

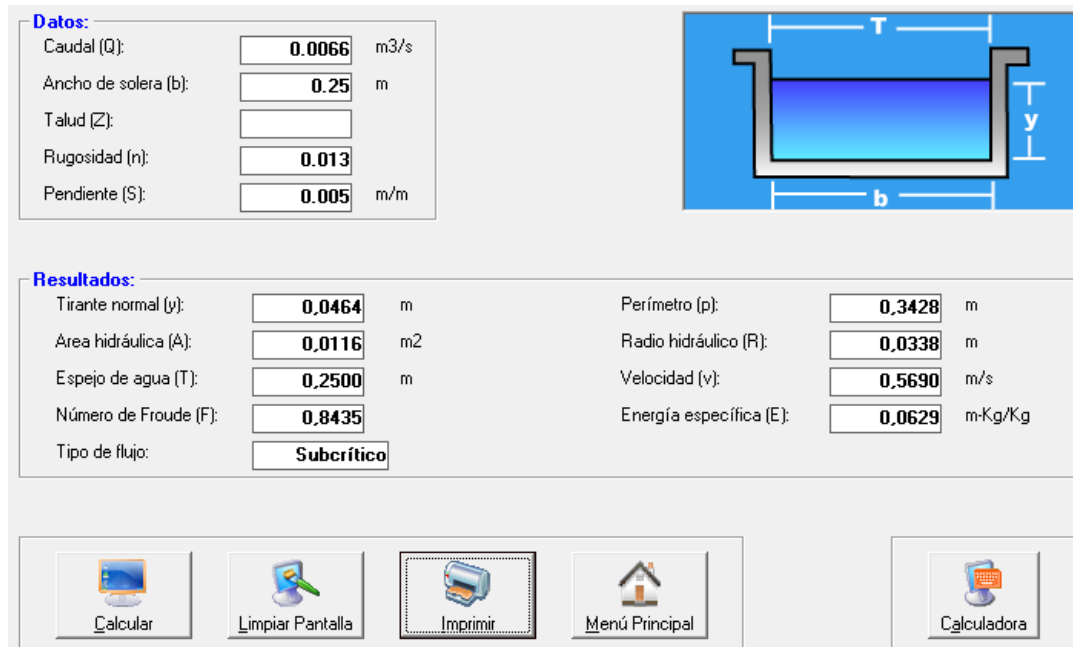
$$Q_D = 5,62 \text{ L/s} + 0,94 \text{ L/s}$$

$$Q_D = 6,56 \text{ L/s}$$

### 3.2.6.3. Canal de Entrada

El dimensionamiento del canal de entrada se lo realizó gracias a la ayuda de un software denominado *Hcanales*, gracias al cual se pudo obtener el valor adecuado de ancho y pendiente del canal para obtener una velocidad de flujo superior a 0,30 m/s, valor establecido por SENAGUA, con la finalidad de obtener una velocidad de arrastre que transportará todos los

materiales sólidos, evitando la sedimentación que podría producir estancamientos en el canal. En la siguiente figura se observa los valores obtenidos para el dimensionamiento del canal. Posteriormente se dimensionará el canal con fórmulas establecidas para comparar los resultados.



**Figura 5-3:** Resultados del dimensionamiento del canal mediante Hcanales  
Realizado por: Miguel Pilco, 2018

- **Radio Hidráulico,  $RH$**

Los valores de ancho y altura de agua en el canal, para su diseño, fueron obtenidos mediante el software *Hcanales*, con un valor de anchura de fondo de 0.25 m y 0,046 m de altura de agua en el canal.

$$RH = \frac{B_c * H}{B_c + 2H}$$

**Ecuación 7**

**Donde:**

**$RH$ :** Radio hidráulico; m

**$B_c$ :** Ancho del canal; 0,25 m

**$H$ :** Altura de agua en el canal; 0,046 m (valor obtenido en Hcanales)

$$RH = \frac{(0,25 * 0,046) m^2}{0,25 m + 2(0,046 m)}$$

$$RH = 0,034 \text{ m}$$

- **Velocidad de flujo en el canal,  $v$ :**

Para calcular la velocidad de flujo hacemos uso de la ecuación de Manning. Es necesario conocer el coeficiente de Manning, mismo que se lo obtiene de la siguiente tabla, con un valor de 0,013 para un canal revestido de Hormigón, acabado con paleta, paredes lisas y trabajamos con una pendiente de 0,005 m/m.

**Tabla 22-3:** Coeficiente de Manning para cálculo de canales

<b>Canales revestidos</b>	<b>n</b>	<b>1/n</b>
Ladrillos, paredes bien construidas	0,013	76,92
Tablas, con crecimiento de algas/musgos	0,015	66,67
Tablas bastante derechas y sin vegetación	0,013	76,92
Tablas bien cepilladas y firmemente fijadas	0,011	90,91
Membrana de plástico sumergida	0,027	37,04
Ladrillos de mortero de cemento	0,020	50,00
Hormigón, piezas prefabricadas, sin terminar, paredes rugosas	0,015	66,67
Hormigón, acabado con paleta, paredes lisas	0,013	76,92
Ladrillos, paredes rugosas	0,015	66,67

Fuente: Metcalf y Eddy, 1995

Realizado por: Miguel Pilco, 2018

$$v = \frac{1}{n} RH^{2/3} S^{1/2}$$

**Ecuación 8**

**Donde:**

**$v$ :** Velocidad de flujo en el canal; m/s

**$RH$ :** = Radio hidráulico; 0,034 m

**$S$ :** Pendiente canal rectangular revestido de hormigón; 0,005 m/m

**$n$ :** Coeficiente de rugosidad de Manning; 0,013 adimensional (ver Tabla 22-3)

$$v_{md} = \frac{1}{0,013} (0,034\text{m})^{2/3} (0,005)^{1/2}$$

$$v = 0,57 \text{ m/s}$$



- *Área de la sección transversal del canal,  $A_{sc}$ :*

$$A_{sc} = \frac{Q_D}{v}$$

**Ecuación 9**

**Donde:**

$A_{sc}$ : Área de la sección transversal del canal; m<sup>2</sup>

$Q_D$ : Caudal de diseño; 0,0066 m<sup>3</sup>/s

$v$ : Velocidad de flujo en el canal; 0,57 m/s

$$A_{sc} = \frac{0,0066 \text{ m}^3/\text{s}}{0,57 \text{ m/s}}$$

$$A_{sc} = 0,012 \text{ m}^2$$

- *Altura total del canal,  $H_{TC}$ :*

$$H_{TC} = H + H_s$$

**Ecuación 10**

**Donde:**

$H_{TC}$ : Altura total del canal; m

$H$ : Altura de agua en el canal; 0,046 m (valor obtenido en Hcanales)

$H_s$ : Altura de seguridad; 0,204 m

$$H_{TC} = (0,046 + 0,204)m$$

$$H_{TC} = 0,25 \text{ m}$$

#### 3.2.6.4. *Cribado*

Dentro del diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales, el cribado, siempre será la primera operación a realizarse con la finalidad de separar los sólidos de tamaño considerable del agua, esto se logra generalmente mediante el uso de rejillas que pueden ser de cualquier material y modelo, por ejemplo, láminas de metal agujereadas, madera o concreto o simplemente un conjunto de rejillas que impidan el paso de material grueso, esto con la finalidad de precautelar

la eficiencia de posteriores operaciones realizadas en la PTAR, así también de los equipos utilizados, especialmente las bombas, válvulas o incluso tuberías.

Un factor esencial a tener en cuenta al momento del diseño de rejillas es la limpieza de las mismas. Esta limpieza se la realiza por medio de rastrillos especiales y para facilitarla las rejillas deben estar inclinadas en relación a la horizontal con un ángulo  $\Theta$ . El valor de este depende de la forma en que se realizará la limpieza ya sea manual o mecánica. Así también la velocidad de flujo que se dirige hacia las barras debe tener un valor entre 0,5 y 1,2 m/s, y la pérdida de carga se calculará mediante la fórmula de Kirschmer (Krochin, 1986).

- **Número de barras,  $N_b$ :**

Para conocer el número de barras a instalarse en el sistema es indispensable conocer el ancho del canal, el espesor de las barras y la separación que existirá entre estas. Existen rejillas gruesas y finas, las gruesas son aquellas cuyo espesor es mayor a 0,64 cm (1/4 pulgada), mientras que las finas son menores a 0,64 cm de espesor. Para el tratamiento de aguas residuales se debe usar rejillas gruesas cuyo ancho oscile entre 0,5 y 1,5 cm, recomendando 1 cm. La separación entre barras recomendada, es de 2,5 cm con el objetivo de atrapar el mayor número de elementos sólidos y evitar obstrucciones o daños en los equipos (Romero, 2010).

**Tabla 23-3:** Criterios de diseño de rejillas de limpieza manual

CARACTERÍSTICAS	LIMPIEZA MANUAL	UNIDAD
Ancho de la barra	1,0	cm
Profundidad	2,5	cm
Separación entre barras, mm	2,5	cm
Pendiente en relación a la vertical	45	Grados
Velocidad de aproximación	0,30 – 0,60	m/s
Pérdida de carga admisible	15	cm

Fuente: Romero, 2010

Realizado por: Miguel Pilco, 2018

$$N_b = \frac{B_c - S_b}{e_b + S_b}$$

**Ecuación 11**

**Dónde**

$N_b$ : Número de barras

$e_b$ : Espesor de barra: 0,01 m (Ver Tabla 28-3)

$B_c$ : Ancho del canal; 0,25 m

$S_b$ : Separación entre barras; 0,025 m (Ver Tabla 28-3)

$$N_b = \frac{0,25 \text{ m} - 0,025 \text{ m}}{0,01 \text{ m} + 0,025 \text{ m}}$$

$$N_b = 6 \text{ barras}$$

- *Longitud de las barras,  $L_b$ :*

$$L_b = \frac{H_{TC}}{\text{Sen } \phi}$$

**Ecuación 12**

**Donde:**

$L_b$ : Longitud de las barras; m

$H_{TC}$ : Altura total del canal; 0,21 m

$\phi$  : Ángulo de inclinación de las barras; 45° (ver Tabla 23-3)

$$L_b = \frac{0,2 \text{ m}}{\text{Sen } 45}$$

$$L_b = 0,28 \text{ m}$$

- *Área libre entre barras,  $A_L$ :*

$$A_L = \frac{Q_D}{v}$$

**Ecuación 13**

**Donde:**

$A_L$ : Área libre entre barras; m<sup>2</sup>

$Q_D$ : Caudal de diseño; 0,0066 m<sup>3</sup>/s

$v$ : Velocidad de flujo; 0,57 m/s

$$A_L = \frac{0,0066 \text{ m}^3/\text{s}}{0,57 \text{ m/s}}$$

$$A_L = 0,012 \text{ m}^2$$

- *Cálculo del nivel máximo de agua,  $dm_{\text{máx}}$ :*

$$dm_{\text{máx}} = \frac{Q_D}{v * B_c}$$

**Ecuación 14**

**Donde:**

**$dm_{\text{máx}}$ :** Nivel máximo de agua; m

**$Q_D$ :** Caudal de diseño, 0,0066 m<sup>3</sup>/s

**$v$ :** Velocidad de flujo; 0,57 m/s

**$B_c$ :** Ancho del canal; 0,25 m

$$dm_{\text{máx}} = \frac{0,0066 \text{ m}^3/\text{s}}{0,57 \text{ m/s} * 0,25 \text{ m}}$$

$$dm_{\text{máx}} = 0,046 \text{ m}$$

- *Longitud sumergida de las rejillas,  $L_{\text{sum}}$ :*

$$L_{\text{sum}} = \frac{dm_{\text{máx}}}{\text{sen}\phi}$$

**Ecuación 15**

**Donde:**

**$L_{\text{sum}}$ :** Longitud sumergida de las rejillas; m

**$dm_{\text{máx}}$ :** Nivel máximo de agua; 0,046 m

**$\phi$ :** Ángulo de inclinación de las barra; 45° (ver Tabla 23-3)

$$L_{\text{sum}} = \frac{0,046 \text{ m}}{\text{sen } 45}$$

$$L_{\text{sum}} = 0,065 \text{ m}$$

- **Pérdida de carga en rejillas,  $h_p$ :**

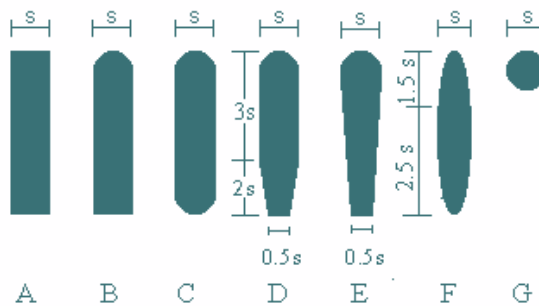
Corresponde a la resistencia al paso de flujo a través de las rejillas. Para su cálculo usamos la ecuación de Kirschmer y los datos de la siguiente tabla.

**Tabla 24-3:** Coeficiente de pérdida para rejillas

FORMA	A	B	C	D	E	F	G
$\beta$	2,42	1,83	1,67	1,035	0,92	0,76	1,79

Fuente: RAS, 2000

Realizado por: Miguel Pilco, 2018



**Figura 17-3:** Formas de rejillas

Fuente: RAS, 2000

$$h_p = \beta \left( \frac{e_b}{S_b} \right)^{4/3} \left( \frac{v^2}{2g} \right) \text{sen } \phi$$

**Ecuación 16**

**Donde:**

$h_p$ : Pérdida de carga; m

$\beta$ : Coeficiente de pérdida según la forma de la rejilla; 1,79 (Ver Tabla 24-3)

$S_b$ : Separación entre barras; 25 mm, 0,025 m (Ver Tabla 28-3)

$e_b$ : Espesor de barra; 0,01 m (Ver Tabla 23-3)

$v$ : Velocidad de flujo; 0,57 m/s

$g$ : Gravedad; 9,8 m/s<sup>2</sup>

$\phi$ : Ángulo de inclinación de las barra; 45° (Ver Tabla 23-3)

$$h_p = 1,79 \left( \frac{0,01}{0,025} \right)^{4/3} \left( \frac{0,57^2}{2 * 9,8 \text{ m/s}^2} \right) \text{sen } 45$$

$$h_p = 0,006 \text{ m}$$

### 3.2.6.5. Trampa de grasas

Se ha considerado las normas RAS-2000 y OPS/CEPIS 2003

- **Cálculo del área del tanque,  $A_T$ :**

El tanque debe tener 0.25m<sup>2</sup> de área por cada litro por segundo, una relación ancho/longitud de 1:4 hasta 1:18, una velocidad ascendente mínima de 4mm/s (RAS, 2000).

$$A_T = Q_D * a$$

**Ecuación 17**

**Donde:**

$A_T$ : Área del tanque; m<sup>2</sup>

$Q_D$ : Caudal de diseño, 6,56 L/s

$a$ : Área mínima del tanque por cada litro por segundo; 0,25 m<sup>2</sup>

$$A_T = 6,56 \text{ L/s} * \frac{0,25 \text{ m}^2}{1 \text{ L/s}}$$

$$A_T = 1,64 \text{ m}^2$$

- **Cálculo del ancho del tanque,  $b_T$ :**

$$b_T = \sqrt{\frac{A_T}{4}}$$

**Ecuación 18**

**Donde:**

$b_T$ : Ancho del tanque; m

$A_T$ : Área del tanque; 1,64 m<sup>2</sup>

$$b_T = \sqrt{\frac{1,64 \text{ m}^2}{4}}$$

$$b_T = 0,64 \text{ m}$$

- **Cálculo del largo del tanque,  $L_T$ :**

$$L_T = b_T * 4$$

**Ecuación 19**

**Donde:**

$L_T$ : Largo del tanque; m

$b_T$ : Ancho del tanque; 0,64 m

4: Relación ancho/longitud de 1:4

$$L_T = 0,64 \text{ m} * 4$$

$$L_T = 2,56 \text{ m}$$

- **Cálculo del volumen útil,  $V_u$ :**

**Tabla 25-3:** Tiempos de retención hidráulicos en trampas de grasas

Caudal de entrada (L/s)	Tiempo de retención (minutos)
2 – 9	3
10 – 19	4
20 o más	5

Fuente: RAS, 2000

Realizado por: Miguel Pilco, 2018

$$V_u = Q_D * T_{RH}$$

**Ecuación 20**

**Donde:**

$V_u$ : Volumen útil; m<sup>3</sup>

$Q_D$ : Caudal de diseño, 0,0066 m<sup>3</sup>/s

$T_{RH}$ : Tiempo de retención; 3 min; 180 s (Ver Tabla 25-3)

$$V_u = 0,0066 \text{ m}^3/\text{s} * 180 \text{ s}$$

$$V_u = 1,18 \text{ m}^3$$

- *Cálculo de la profundidad útil,  $P_u$ :*

$$P_u = \frac{V_u}{A_T}$$

**Ecuación 21**

**Donde:**

$P_u$ : Profundidad útil; m

$V_u$ : Volumen útil; 1,18 m<sup>3</sup>

$A_T$ : Área del tanque; 1,64 m<sup>2</sup>

$$P_u = \frac{1,18 \text{ m}^3}{1,64 \text{ m}^2}$$

$$P_u = 0,72 \text{ m}$$

- *Cálculo de la profundidad total del tanque,  $P_T$ :*

$$P_T = P_u + P_s$$

**Ecuación 22**

**Donde:**

$P_T$ : Profundidad total del tanque; m

$P_u$ : Profundidad útil; 0,72 m

$P_s$ : Profundidad de seguridad; 0,28 m

$$P_T = 0,72 \text{ m} + 0,28 \text{ m}$$

$$P_T = 1 \text{ m}$$

### 3.2.6.6. *Humedal subsuperficial de flujo horizontal*

El cálculo del Humedal se realizó siguiendo el modelo de diseño del RAS 2000 y el modelo de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) descrito en la *Guía para el Diseño y Construcción de un Humedal Construido con Flujos Subsuperficiales*.



- *Constante de reacción,  $K_T$ :*

$$K_T = K_{20} * \theta^{t-20^\circ C}$$

**Ecuación 23**

**Donde:**

$K_T$ : Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura; días<sup>-1</sup>

$K_{20}$ : Constante de reacción a la temperatura a 20°C; 1,104

$\theta$ : Factor de corrección de temperatura; 1,056

$t$ : Temperatura del agua residual; 15°C

$$K_T = 1,104 * 1,056^{15-20^\circ C}$$

$$K_T = 0,84 d^{-1}$$

- *Área superficial del humedal,  $AS_H$ :*

Para determinar el área superficial del humedal y sus consiguientes cálculos se utilizará los parámetros hidrogeológicos, del humedal piloto, obtenidos en el laboratorio. En primer lugar se realizó el análisis de la porosidad media como la porosidad de cada una de las capas de las que está compuesto nuestro humedal.

**Tabla 26-3:** Porosidad de las capas del humedal piloto

TIPO DE MATERIAL	n
ARENA	0.418
GRAVA	0.325
TIERRA	0.528

**Fuente:** Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH, 2018

**Realizado por:** Miguel Pilco, 2018

**Tabla 27-3:** Porosidad media del humedal piloto

TIPO DE MATERIAL	n
Lecho filtrante	0.42

**Fuente:** Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH, 2018

**Realizado por:** Miguel Pilco, 2018

Se ha seleccionado una profundidad de 1 m en base a recomendaciones de Hammer (1989) y Delgadillo (2010) con espesores de 30 cm para la tierra, 50 cm para la grava y 20 cm para la

arena. Se trabajará con una pendiente de 0,5 y una relación largo/ancho de 2:1, estas características constructivas se describen en la siguiente Tabla.

**Tabla 28-3:** Características constructivas de un Humedal Subsuperficial de flujo horizontal

Características Constructivas	Intervalo	Valor usual	Unidad
Pendiente	0,5 – 1	0,5	%
Altura	0,6 – 1	0,6	m
Relación largo-ancho	2:1 – 7:1	3:1	-

Fuente: Delgadillo et al., 2010

Elaborado por: Miguel Pilco, 2018

$$AS_H = \frac{Q_D * \ln \frac{C_0}{C}}{K_T * h_H * n}$$

**Ecuación 24**

**Donde:**

$AS_H$ : Área susuperficial del humedal, m<sup>2</sup>

$Q_D$ : Caudal de diseño; 566,77 m<sup>3</sup>/día

$C_0$ : Concentración DBO5 en el agua residual, 153 mg/L

$C$ : Concentración DBO5 a la salida del humedal, 53 mg/L

$K_T$ : Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura; 0,84 días<sup>-1</sup>

$h_H$ : Profundidad del humedal; 1 m

$n$ : Porosidad del medio filtrante; 0,42

$$AS_H = \frac{566,77 \frac{m^3}{d} * \ln \frac{153}{53}}{0,84 d^{-1} * 1 * 0,42}$$

$$AS_H = 1701,66 m^2$$

- **Conductividad Hidráulica media del humedal,  $K_s$ :**

Mediante el análisis de laboratorio se determinó la conductividad hidráulica para cada una de las capas que forman el humedal y se calcula la conductividad hidráulica de un flujo que circula a través de varias capas.

**Tabla 29-3:** Conductividad hidráulica y espesor de las capas del humedal

TIPO DE MATERIAL	$K_n$ (m/s)	$b_n$ (m)
ARENA	5,21E-02	0,20
GRAVA	6,21E-02	0,50
TIERRA	1,31E-03	0,30

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH, 2018

Realizado por: Miguel Pilco, 2018

$$K_s = \frac{\sum K_n * b_n}{B}$$

**Ecuación 25**

**Donde:**

$K_s$ : Conductividad hidráulica promedio en el humedal; m/s

$K_n$ : Conductividad hidráulica de cada una de las capas; m/s

$b_n$ : Espesor de las capas del humedal; m

$B$ : Espesor total del humedal; 1 m

$$K_s = \frac{[(0,0521 * 0,20) + (0,0621 * 0,50) + (0,00131 * 0,30)] m^2/s}{1 m}$$

$$K_s = 0,041863 m/s$$

$$K_s = 3616,96 m/d$$

- **Área de la sección transversal,  $A_{STH}$ :**

Para calcular el área de la sección transversal de un humedal se debe considerar la Ley de Darcy en medios porosos saturados de agua.

$$A_{STH} = \frac{Q_D}{K_s * S}$$

**Ecuación 26**

**Donde:**

$A_{STH}$ : Área de la sección transversal, m<sup>2</sup>

$Q_D$ : Caudal de diseño; 566,77 m<sup>3</sup>/día

$K_s$ : Conductividad hidráulica; 3616,96 m/d

**S:** Pendiente del lecho del humedal; 0,005 m/m

$$A_{STH} = \frac{566,77 \frac{m^3}{d}}{3616,96 \frac{m}{d} * 0,005}$$

$$A_{STH} = 31,34 m^2$$

- **Ancho del humedal,  $B_H$ :**

$$B_H = \sqrt{\frac{AS_H}{2}}$$

**Ecuación 27**

**Donde:**

**$B_H$ :** Ancho del humedal; m

**$AS_H$ :** Área superficial del humedal, 1701,66 m<sup>2</sup>

$$B_H = \sqrt{\frac{1701,66 m^2}{2}}$$

$$B_H = 29,17 m = 30 m$$

- **Longitud del humedal,  $L_H$ :**

$$L_H = 2B_H$$

**Ecuación 28**

**Donde:**

**$L_H$ :** Largo del humedal; m

**$B_H$ :** Ancho del humedal; 29,17 m

$$L_H = 2 * 29,17 m$$

$$L_H = 58,34 = 60 m$$

- *Tiempo de retención,  $T_{RH}$ :*

$$T_{RH} = \frac{L_H * B_H * h_H}{Q_D}$$

**Ecuación 29**

**Donde:**

$T_{RH}$ : Tiempo de retención, días

$L_H$ : Largo del humedal; 60 m

$B_H$ : Ancho del humedal; 30 m

$h_H$ : Profundidad del humedal; 1 m

$Q_D$ : Caudal de diseño; 566,77 m<sup>3</sup>/día

$$T_{RH} = \frac{(60 * 30 * 1)m^3}{566,77 \frac{m^3}{d}}$$

$$T_{RH} = 3 \text{ días}$$

### 3.2.7. Resultados del dimensionamiento

- *Población Futura*

**Tabla 30-3: Resultados del Cálculo de Población Futura**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Población actual 2017	743	Habitantes
Periodo de diseño	20	Años
Índice de crecimiento	1.57	%
Población futura 2030	1015	Habitantes

Realizado por: Miguel Pilco, 2018

- *Caudal de diseño*

**Tabla 31-3:** Resultados del Cálculo de Caudales

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Caudal medio	1,41	L/s
Caudal mayorado	5,62	L/s
Caudal de aguas ilícitas	0,94	L/s
Caudal de diseño	6,56	L/s

Realizado por: Miguel Pilco, 2018

- *Canal de Entrada*

**Tabla 32-3:** Resultados del diseño del Canal de Entrada

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Ancho del canal	0,25	m
Altura de agua en el canal	0,046	m
Pendiente	0,5	%
Radio Hidráulico	0,034	m
Velocidad de Flujo	0,57	m/s
Área de la Sección Transversal	0,012	m <sup>2</sup>
Altura total del canal	0,25	m

Realizado por: Miguel Pilco, 2018

- *Rejillas*

**Tabla 33-3:** Resultados del diseño de Rejillas

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Espesor de la barra	0,01	m
Separación entre barras	0,025	m
Ángulo de inclinación de las barras	45	Grados
Número de barras	6	
Longitud de barras	0,28	m
Área libre entre barras	0,012	m <sup>2</sup>
Longitud sumergida de rejillas	0,065	m
Perdida de carga en rejillas	0,006	m

Realizado por: Miguel Pilco, 2018

- *Trampa de Grasas*

**Tabla 34-3:** Resultados del diseño de la Trampa de Grasas

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Área del Tanque	1,64	m <sup>2</sup>
Ancho del Tanque	0,64	m
Largo del Tanque	2,56	m
Volumen útil	1,18	m <sup>3</sup>
Profundidad útil	0,72	m
Profundidad del tanque	1	m

Realizado por: Miguel Pilco, 2018

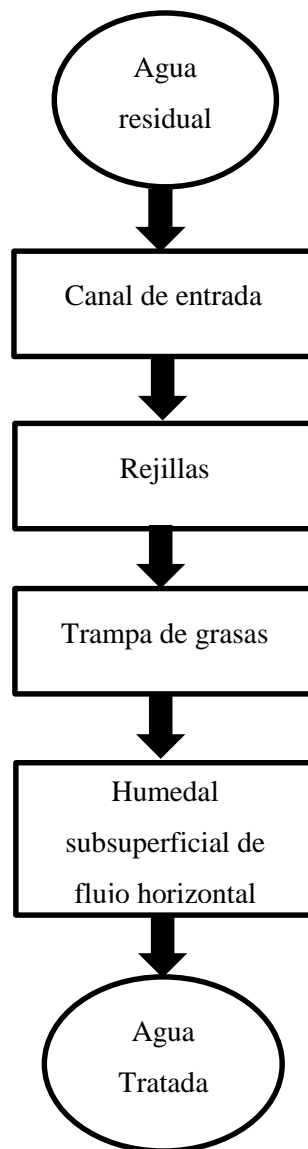
- *Humedal Artificial*

**Tabla 35-3:** Resultados del diseño del Humedal Subsuperficial de Flujo Horizontal

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Porosidad del medio granular	0,42	
Conductividad Hidráulica	3616,96	m/d
Área Superficial	1701,66	m <sup>2</sup>
Pendiente	0,5	%
Área de la Sección Transversal	31,34	m <sup>2</sup>
Ancho del Humedal	30	m
Longitud del Humedal	60	m
Tiempo de Retención	3	días

Realizado por: Miguel Pilco, 2018

### 3.3. Proceso de Producción





### 3.4. Requerimientos de Tecnología, Equipos y Maquinaria

#### 3.4.1. Muestreo del agua residual

**Tabla 36-3:** Materiales y Normativa usados en el muestreo del Agua Residual

<b>Materiales</b>	<b>Normativa</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Guantes desechables</li><li>• Recipientes de plásticos</li><li>• Recipientes de vidrio</li><li>• Hielera</li><li>• Mascarilla</li><li>• Recipiente estéril</li></ul>	El muestro se realizó según la norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:98, Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras.

Realizado por: Miguel Pilco, 2018

#### 3.4.2. Parámetros in situ

**Tabla 37-3:** Equipos utilizados para caracterizar parámetros in situ

<b>Equipos</b>	<b>Función</b>
Potenciometro	Medir el valor de pH del agua residual en los puntos de descarga.
GPS	Determinar las coordenadas geográficas de los puntos de muestreo.
Termómetro	Determinar valores de temperatura del agua residual.

Realizado por: Miguel Pilco, 2018

#### 3.4.3. Análisis de Laboratorio

**Tabla 38-3:** Equipos y Métodos para análisis del Agua Residual

<b>PARÁMETROS QUÍMICOS</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>EQUIPO</b>
DQO	STANDARD METHODS 5220 - D mod, Cuando se digiere una muestra, el ion dicromato oxida el material COD en la muestra. Esto da como resultado el cambio de cromo del estado hexavalente (VI) al estado trivalente (III). Ambas especies de cromo están coloreadas y absorben en la región visible del espectro. El ion dicromato se absorbe fuertemente en la región de 400 nm, donde la absorción del ión crómico es mucho menor. El ion crómico se absorbe fuertemente en la región de	Espectrofotómetro UV HACH DR 5000

	600 nm, donde el dicromato tiene una absorción casi nula. Unidades mg/l	
DBO5	STANDARD METHODS 5210 - B, El método consiste en llenar con muestra, a rebosar, una botella hermética del tamaño especificado e incubarla a la temperatura específica durante 5 d. El oxígeno disuelto se mide inicialmente y después de la incubación, y la DBO se calcula a partir de la diferencia entre DO inicial y final. Unidades mgO <sub>2</sub> /l	Sensor DBO VELP SCIENTIFICA
Nitrógeno Total	STANDARD METHODS 4500 - N - B mod, En presencia de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , sulfato de potasio (K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) y catalizador sulfato cúprico (CuSO <sub>4</sub> ), el nitrógeno amino de muchos materiales orgánicos se convierte en amonio. El amoníaco libre se convierte en amonio. Después de la adición de la base, el amoníaco se destila de un medio alcalino y absorbido en ácido bórico o ácido sulfúrico. El amoníaco puede ser determinado colorimétricamente, mediante un electrodo selectivo de amoníaco, o mediante titulación con un ácido mineral estándar. Unidades mg/l	KJELDAHL
Detergentes	STANDARD METHODS 5540 - C mod, Los tensioactivos entran a las aguas y aguas residuales principalmente mediante la descarga de desechos acuosos del lavado doméstico e industrial y otras operaciones de limpieza. El método comprende tres extracciones sucesivas de medio acuoso ácido que contiene exceso de azul de metileno en cloroformo (CHCl <sub>3</sub> ), seguido de un retrolavado acuoso y medición del color azul en el CHCl <sub>3</sub> por espectrofotometría a 652 nm. Unidades mg/l	Espectrofotómetro UV HACH DR 5000
Fósforo Total	STANDARD METHODS 4500 - P - E mod, El molibdato de amonio y el tartrato de potasio y	Espectrofotómetro UV HACH DR 5000

	antimonilo reaccionan en medio ácido con ortofosfato para formar un heteropoliácido-ácido fosfomolibdico, que se reduce a azul de molibdeno intenso con ácido ascórbico. Unidades mg/l	
<b>PARÁMETROS FÍSICOS</b>	<b>MÉTODOS</b>	<b>EQUIPO</b>
Potencial Hidrógeno pH	STANDARD METHODS 4500 - H - B, Este método permite la determinación del pH del agua. El principio básico de la medición electrométrica del pH es la determinación de la actividad de los iones de hidrógeno por medida potenciométrica utilizando un electrodo de hidrógeno estándar y un electrodo de referencia. El electrodo de hidrógeno consiste de un electrodo de platino a través del cual se burbujea gas de hidrógeno en una presión de 101 kPa.	pHmetro Hanna Instruments HI 98182
Aceites y grasas	EPA 418.1, Este método es para la medición de petróleo extraíble de fluorocarbono-113 hidrocarburos de aguas superficiales y salinas, desechos industriales y domésticos. La muestra se acidifica a un pH bajo (<2) y se extrae en serie con fluorocarbono-113 en un embudo de separación. Las interferencias se eliminan con sílice gel adsorbente. El análisis infrarrojo del extracto se realiza por directa comparación con los estándares. Unidades mg/l	Embudos de Separación/Extracción con hexano
Sólidos Suspendidos	STANDARD METHODS 2540 - D, Una muestra bien mezclada se filtra a través de un filtro de fibra de vidrio estándar pesado y el residuo retenido en el filtro se seca a un peso constante de 103 a 105 ° C. El aumento en peso del filtro representa el total de sólidos en suspensión. Si el material suspendido obstruye el filtro y prolonga la filtración, puede ser necesario aumentar el diámetro del filtro o disminuir el volumen de muestra. Para obtener una estimación del total de sólidos suspendidos, calcule	Gravimétrico

	la diferencia entre el total de sólidos disueltos y el total de sólidos. Unidades mg/l	
Sólidos Totales	STANDARD METHODS 2540 - B, Una muestra bien mezclada se evapora en un plato pesado y se seca a peso constante en un horno a 103 a 105 ° C. El aumento de peso sobre el del plato vacío representa los sólidos totales. Unidades mg/l	Gravimétrico
Color real	STANDARD METHODS 2120 - C, En esta sección, una introducción proporciona definiciones, pretratamiento para la eliminación de turbidez y orientación en la selección de métodos. Los nuevos métodos son la espectrofotometría de longitud de onda única (2120C). Unidades de color	Espectrofotómetro UV HACH DR 5000 HACH
<b>PARÁMETROS BACTERIOLÓGICO S</b>	<b>MÉTODOS</b>	<b>EQUIPO</b>
Coliformes Fecales	STANDARD METHODS 9222 D, Filtrar la muestra a través de un filtro de membrana. Coloque la membrana en agar mFC que contenga anilina azul como indicador. Incubar a 44.5C por 22-24 h. Las colonias que tienen varios tonos de azul son positivas para coliformes fecales. El color azul indica la capacidad de fermentar la lactosa en ácido. Requisitos: ingredientes para agar mFC; tampón para enjuague y diluciones; platos de cultivo (50x10 mm); la membrana de 0.65 micras filtra los filtros de membrana micrométrica, certificados para retener completamente los coliformes fecales. Refrigeración; autoclave; colector de filtro múltiple y estéril; pipetas estériles; fórceps, alcohol. Incubadora a 44.5 + -0.2C. Un microscopio de disección binocular de campo amplio de baja potencia (10-15 aumentos) o equivalente. Unidades	Equipo de filtración de membrana

	UFC/100ml ( (EPA)	
--	----------------------	--

**Fuente:** Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH, 2017

**Realizado por:** Miguel Pilco, 2018

**Tabla 39-3:** Equipos y Materiales secundarios usados en el laboratorio

<b>Equipos y Materiales</b>	<b>Función</b>
Espectrofotómetro DR 2800	Análisis de agua y otros
Fotómetro PF-12	Análisis de agua y otros
Turbidímetro	Medición de turbiedad
Potenciómetro	Potencial de Hidrógeno
Cámara incubadora	Determinar unidades formadores de colonia
Autoclave	Esterilización
Colorímetro	Medición de color
Termómetro	Medición de temperatura
Estufa	Producción de calor
Balanza Analítica	Determinación de Peso
Vasos de precipitación	Contener muestras
Cubetas de Análisis	Análisis de agua y otros
Pipeta	Dosificaciones

**Fuente:** Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH, 2017

**Realizado por:** Miguel Pilco, 2018

#### 3.4.4. Pruebas de tratabilidad

**Tabla 40-3:** Materiales y Equipos usados en las pruebas de tratabilidad

<b>Materiales y Equipos</b>	<b>Función</b>
Recipiente Plástico	Simulación de Trampa de grasas
Tierra	Sostén para la vegetación
Grava	Medio poroso
Arena	Medio poroso
Vegetación (Totoras)	Tratamiento de aguas
Botellas plásticas	Recolección de muestras
Recipiente plástico de grandes dimensiones	Simulación de humedal
Permeámetro	Determinación de parámetros hidráulicos
Cronómetro	Determinación de tiempos de retención

**Fuente:** Laboratorio de Servicios Ambientales UNACH, 2017

**Realizado por:** Miguel Pilco, 2018

### 3.5. Costos de la implementación del Sistema de Tratamiento

**Tabla 41-3:** Costo Civil de la obra para el sistema de tratamiento

Ítems	Descripción	Unidades	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
<b>Canal de Llegada y Rejillas</b>					
1	Excavación manual del suelo	m3	0,2	8,1	1,62
2	Replanteo y nivelación	m2	0,75	1,1	0,825
3	Acero de refuerzo f'y=4200 kg/cm2	kg	20	2,1	42
4	Hormigón simple f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> Inc. Encofrado	m3	0,15	121,22	18,183
5	Enlucido con impermeabilizante mortero 1:3	m2	2,25	9,25	20,8125
6	Varrilla de acero inoxidable 10mm x 6m	u	1	35	35
7	Costo de instalación de rejillas en el actual canal	-	1	10	10
8	Tubería Corrugada 200 mm x 6 m	u	1	54,67	54,67
<b>Subtotal:</b>					<b>183,11</b>
<b>Trampa de Grasas</b>					
1	Excavación manual del suelo	m3	1,7	8,1	13,77
2	Replanteo y nivelación	m2	2,3	1,1	2,53
3	Acero de refuerzo f'y=4200 kg/cm2	kg	80	2,1	168
4	Hormigón simple f'c= 210 kg/cm <sup>2</sup> Inc. Encofrado	m3	0,9	121,22	109,098
5	Enlucido con impermeabilizante mortero 1:3	m2	8,1	9,25	74,925
6	Tubería PVC lisa 200 mm x 6m	u	1	54,06	54,06
<b>Subtotal:</b>					<b>422,38</b>
<b>Humedal Artificial</b>					
1	Excavación h=0 a 1,30	m3	2212,16	2,75	6083,44
2	Replanteo y nivelación	m2	1701,66	1,1	1871,826
3	Geomembrana e=1mm	m2	2000	6,5	13000
4	Grava	m3	850,88	7	5956,16
5	Arena	m3	340,36	7	2382,52
<b>Subtotal:</b>					<b>29293,95</b>

Realizado por: Miguel Pilco, 2018

**Tabla 42-3:** Costo civil de la obra (Mano de obra)

Ítems	Descripción	Unidades	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
<b>Mano de Obra</b>					
1	Chofer	-	1	560	560
3	Albañil (jefe)	-	1	800	800
4	Albañil (ayudante)	-	4	500	2000
5	Soldador	-	1	200	200
6	Operador de maquinaria pesada	-	1	560	560
<b>Subtotal:</b>					<b>4120,00</b>

Realizado por: Miguel Pilco, 2018

**Tabla 43-3:** Costo total para la implementación del sistema de tratamiento

Descripción	Costo
Canal y Rejillas	183,11
Trampa de Grasas	422,38
Humedal Artificial	29293,95
Mano De Obra	4120,00
<b>Costo Total:</b>	<b>34019,44</b>
<b>Gastos Imprevistos (10%):</b>	<b>3401,94</b>
<b>TOTAL:</b>	<b>37421,38</b>

Realizado por: Miguel Pilco, 2018

### 3.6. Cronograma de ejecución del proyecto

**Tabla 44-3:** Diagrama de Gantt de la ejecución del proyecto

ACTIVIDADES	TIEMPO																											
	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Revisión de Fuente Bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Determinación de Línea Base Teórica			■	■																								
Toma de muestras					■	■	■	■																				
Caracterización física, química y biológica de las aguas residuales					■	■	■	■																				
Identificación de parámetros fuera de norma									■																			
Realización de pruebas de tratabilidad									■	■	■	■	■															
Realización de cálculos de Ingeniería para el diseño													■	■	■													
Validación técnica y económica del diseño															■	■												
Revisión y Corrección															■	■	■	■										
Sustentación final del proyecto																			■	■	■	■	■	■				

Realizado por: Miguel Pilco, 2018



### 3.7. Análisis

El agua residual, generada por los habitantes de Chaquishca, contiene varios parámetros que no cumplen con la norma general para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce del libro VI TULSMA, ANEXO I, TABLA 9; establecida por la autoridad ambiental de nuestro país, estos parámetros son: DBO5, DQO, Sólidos Suspendidos Totales, Aceites y Grasas y Coliformes fecales.

La caracterización inicial se realizó mediante los métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales, destacandose los siguientes resultados; DBO5 153 mg/L; DQO 233 mg/L; SST 143 mg/L; Aceites y Grasas 34 mg/L; Coliformes fecales 7800 UFC/100 mL; siendo estos los parámetros que tienen concentraciones superiores a los límites permisibles. Por esto, y en base al valor del índice de biodegradabilidad del agua residual se efectuó diferentes pruebas de tratabilidad con la finalidad de determinar qué proceso sería el más conveniente al momento de implementar un sistema de tratamiento. Finalmente se decidió trabajar con un proceso de tratabilidad basado en la utilización de un humedal artificial, con la finalidad de disminuir la carga orgánica presente en el agua y una trampa de grasas que serviría para reducir la concentración de aceites y grasas.

Una vez culminado el proceso de tratabilidad, con los datos obtenidos durante y al final del tratamiento se logró conocer los valores de remoción con los que opera el sistema de tratamiento, por lo tanto, conocemos la efectividad del mismo. Es así que en el pre tratamiento, aparte de la zona de desbaste se hará uso de una trampa de grasas que con un valor final de concentración, 9 mg/L de aceites y grasas, logra un porcentaje de remoción de 73,53%. En el humedal, se logró disminuir con buenos resultados la carga orgánica y los sólidos suspendidos, presentando las siguientes concentraciones y porcentajes de remoción: DBO5 17 mg/L, con un porcentaje de remoción de 88,88%; DQO 28 mg/L, con un porcentaje de remoción de 87,98%; Sólidos Suspendidos Totales 23 mg/L, con un porcentaje de remoción de 84,34%.

Estos resultados se obtuvieron utilizando un tiempo de retención de seis días, tiempo factible a escala de laboratorio, pero a un gran nivel un tiempo de retención de seis días generaría el uso de un gran espacio para la elaboración del humedal, lo que demanda aumento de costos, es por ello que también se realizó análisis usando tres días como tiempo de retención, logrando de igual manera cumplir con la norma establecida por la autoridad ambiental para descargas a cuerpos de agua dulce, obteniendo valores de 42 mg/L para DBO; 87 mg/L para DQO y 57

mg/L para SST. Al verificar el cumplimiento ambiental a los tres días de retención se decidió dimensionar el humedal con estos valores para evitar el uso de espacio excesivo.

Por último, para disminuir la concentración de Coliformes Fecales se ha demostrado en estudios previos que los humedales en un medio de grava eliminan concentraciones de agentes patógenos con porcentajes superiores a 95% con 2 días de retención, así en la caracterización final se obtuvo un valor de <1 UFC/100mL, con un porcentaje de remoción del 99%.

Finalmente, según los costos estimados para el diseño y según los resultados obtenidos es factible la aplicación del sistema de tratamiento propuesto para tratar el agua residual de Chaquishca y que de este modo sea apta para ser descargada a un cuerpo de agua dulce, en este caso el río Guaranda.

## CONCLUSIONES

- La caracterización física, química y microbiológica, del agua residual, se realizó mediante los métodos normalizados para el análisis de aguas residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21° EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21° EDICIÓN. Gracias a esta caracterización inicial se recopiló información sobre las concentraciones de contaminantes presentes en las descargas del sector Chaquishca. Estos resultados son comparados con la norma general para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce del libro VI TULSMA, ANEXO I, TABLA 9.
- Los parámetros que contravienen la normativa ambiental vigente, entre ellos tenemos: DBO5 153 mg/L; DQO 233 mg/L; SST 143 mg/L; Aceites y Grasas 34 mg/L; Coliformes fecales 7800 UFC/100 mL. Las dos variables más importantes que intervienen en el proceso de diseño son el caudal de agua residual, la proyección de la población y en menor grado los contaminantes presentes en el agua residual.
- Mediante el análisis de los valores de concentración de los contaminantes y una vez conocido su índice de biodegradabilidad, se realizaron las pruebas de tratabilidad con la finalidad de determinar cuál de ellas es la más conveniente en el proceso de tratamiento del agua residual, eligiendo como mejor opción el uso de humedales artificiales por tratarse de un sistema económico y eficiente para pequeños centros poblados.
- Se realizó el dimensionamiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales para el sector Chaquishca, componiéndose de un canal de entrada, una zona de pre-tratamiento mediante el uso de rejillas, posteriormente se ubica una trampa de grasas con la finalidad de realizar un proceso de eliminación de aceites, grasas, espumas y demás elementos de baja densidad, el diseño continúa con el dimensionamiento de un humedal subsuperficial de flujo horizontal que eliminará la carga orgánica, los sólidos suspendidos y microorganismos patógenos presentes en el agua residual. Los resultados del diseño propuesto se pueden observar desde la Tabla 24-3 a la Tabla 29-3
- Mediante pruebas experimentales, de tratabilidad, a escala de laboratorio se realizó el tratamiento de los vertidos originados en Chaquishca y se validó los resultados en el laboratorio de Servicios Ambientales de la UNACH, mismo que se encuentra acreditado por el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE). Con los resultados finales obtenidos se determinó que el diseño de tratamiento propuesto es muy efectivo al momento de realizar la depuración de las descargas originadas por los habitantes del sector antes mencionado.

## RECOMENDACIONES

- Al momento de la construcción del Humedal Artificial se recomienda usar grava con un tamaño entre 50 y 100 mm para una longitud de 0,60 m (sin vegetación) tanto al inicio como al final del humedal, esto con la finalidad de evitar taponamientos al ingreso y salida del sistema y también para distribuir de manera uniforme el flujo de agua residual por todo el ancho del humedal. De igual manera se debe colocar en la base una capa de arena con un espesor entre 5 y 10 cm para evitar cortes de la membrana impermeable que podrían ocasionar fugas del agua residual.
- Controlar regularmente la densidad de la vegetación, practicando la poda y realizando cortes diagonales, a las plantas maduras que alcancen elevadas alturas, a un nivel superior a los 30 cm medidos desde la superficie, se ha demostrado que con ese nivel de altura las totoras continúan realizando su trabajo depurador y produciendo nuevos brotes.
- Evitar que sobre la superficie del humedal exista estancamientos de agua ya que esto conllevaría a la proliferación de insectos perjudiciales para la vegetación. Al existir una propagación excesiva de insectos se debe hacer uso de agentes de control químicos.
- Es esencial realizar una limpieza regular de las trampas de grasa para evitar la obstrucción de las tuberías de entrada y salida.
- Realizar análisis, físico-químicos y microbiológicos, periódicos del efluente descargado desde el humedal para verificar el correcto funcionamiento del sistema de tratamiento y si existe una falla realizar las correcciones necesarias.
- Realizar la respectiva capacitación a las personas comisionadas a operar el sistema y elaborar manuales de operación y mantenimiento para facilitar la ejecución de trabajos en la planta de tratamiento.
- El estudio de humedales artificiales como medio de depuración ha sido de poco interés en el Ecuador por eso es necesario realizar profundas investigaciones acerca de este método de tratamiento de aguas residuales en nuestras condiciones ambientales haciendo uso de diferentes tipos de vegetación para evaluar su capacidad depuradora. De igual manera es indispensable profundizar el análisis de laboratorio de las plantas utilizadas en los procesos de tratamiento de aguas residuales.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **Arias, Oscar.** *Estudio de la biodegradación de la materia orgánica en humedales construidos de flujo subsuperficial.* Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental., 2004. pp. 33-58.
2. **Cadavid, Juan.** *Hidraulica de Canales: Fundamentos.* Medellin: Fondo Editorial Universidad EAFIT, 2006. pp. 31-41
3. **Cegarra, José.** *Metodología de la Investigación Científica y Tecnológica.* Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 2012. pp. 81-84
4. **Centro de Nuevas Tecnologías del Agua. CENTA.** *Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas.* s.l.: Ideasmares, 2010. pp. 224-258
5. **Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, CEPIS.** *Especificaciones Técnicas para el Diseño de Trampa de Grasa.* [En línea]. Lima: OPS/CEPIS, 2003. [Consulta: 12 diciembre 2017]. Disponible en: [http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/sanea/etTrampa\\_grasa.pdf](http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/sanea/etTrampa_grasa.pdf).
6. **Custodio, Emilio & Llamas, Manuel Ramón.** *Hidrología Subterránea. Tomo I.* 2ª ed. Barcelona: Ediciones Omega, S.A., 1983. pp. 449-470
7. **Delgadillo, Oscar; et al.** *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales.* Cochabamba: Universidad Mayor de San Simón, 2010.
8. **United States Environmental Protection Agency, EPA.** *Design Manual Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment.* [En línea]. Cincinnati: Center for Environmental Research Information, 1988. [Consulta: 14 diciembre 2017]. Disponible en: <https://nepis.epa.gov>.
9. **United States Environmental Protection Agency, EPA.** *Guía Para el Diseño Y Construcción de un Humedal Construido con Flujos Subsuperficiales.* [En línea] Washington: EPA, 1993. [Consulta: 14 diciembre 2017]. Disponible en: <https://nepis.epa.gov>.

10. **United States Environmental Protection Agency, EPA.** *Subsurface Flow Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*. USA : s.n., 1993. pp. 4,1-4,19
11. **EX-IEOS.** *Normas Técnicas de Diseño para los Sistemas de Alcantarillado*. Quito : s.n., 1992.
12. **Fernández, Jesús; et al.** *Manual de Fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación*. Madrid : EDITA, 2000. pp. 79-91.
13. **Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Guaranda, GADMG.** *Informe final del estudio de Microzonificación Sísmica de la ciudad Guaranda*. Guaranda : s.n., 2011.
14. **Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Guaranda, GADMG.** PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL CANTÓN GUARANDA. [En línea]. Quito: Sistema Nacional de Información, 2011. [Consulta: 5 octubre 2017.]. Disponible en: [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdiagnostico/PDOT\\_GUARANDA\\_ACTUALIZACION\\_PORTAL Borrador\\_14-11-2014.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/PDOT_GUARANDA_ACTUALIZACION_PORTAL Borrador_14-11-2014.pdf).
15. **Hammer, Donald.** *Constructed Wetlands for waste water treatment municipal, industrial and agricultural*. USA : Lewis Publisher, INC., 1989.
16. **Instituto Nacional de Estadística y Censos, INEC.** *VII Censo de población y VI Vivienda*. 2010.
17. **Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN NTE INEN 2176:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO.** QUITO : s.n., 2013.
18. **Karia, G & Christian, R.** *Wastewater Treatment Concepts and Design Approach*. Nueva Delhi : Prentice-Hall, 2006. pp. 129-139.
19. **Krochin, Sviatoslav.** *Diseño Hidráulico*. 3ª ed. Quito : Editorial de la Escuela Politécnica Nacional, 1986. pp. 315-316
20. **Lara, Jaime.** *Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. (Trabajo de Titulación). (Maestría)*. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona. 1999.

21. **Londoño, Luz Adriana y Marín, Carolina.** Evaluación de la Eficiencia de Remoción de Materia Orgánica en Humedales Artificiales de Flujo Horizontal Subsuperficial Alimentados con Agua Residual Sintética. (Trabajo de Titulación). Universidad Tecnológica de Pereira. [En línea] 2009. [Consulta: 19 octubre 2017]. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1817/628162L847.pdf?sequence=1>.
22. **Mackenzie, Davis. 2010.** *Water and Wastewater Engineering*. United States of America : McGraw-Hill, 2010. pp. 18,7-18,20
23. **Medina, Patricio. 2017.** *Datos sobre el sector Chaquishca*. Guaranda, 21 de noviembre de 2017.
24. **Metcalf & Eddy. 1995.** *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización*. Madrid : McGraw-Hill, 1995.
25. **PELT. 2001.** *Programa de Capacitación sobre el manejo de la Totora: Técnicas de Reimplante de Totora*. [En línea] 2001. Perú: ALT [Consulta: 20 octubre 2017]. Disponible en: [http://www.alt-perubolivia.org/Web\\_Bio/PROYECTO/Docum\\_bolivia/21.03%20manual.pdf](http://www.alt-perubolivia.org/Web_Bio/PROYECTO/Docum_bolivia/21.03%20manual.pdf).
26. **Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS.** *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO B. Sistemas de Acueducto*. Bogota : s.n., 2000.
27. **Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS.** *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO D. Sistemas de Recolección y Evacuación de Aguas Residuales Domésticas y Pluviales*. Bogota : s.n., 2000.
28. **Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS.** *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO E. Tratamiento de Aguas Residuales*. Bogota : s.n., 2000.
29. **Rigola, Miguel. 1990.** *Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales*. Barcelona : Marcombo, S.A., 1990.

30. **Romero, Jairo.** *Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y Principios de Diseño.* Bogota : Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2010.
31. **Sánchez, Javier.** *Hidrología Subterránea.* [En línea] 2016. [Consulta: 20 febrero 2018]. Disponible en: <http://hidrologia.usal.es/temas.html>.
32. **Sánchez, Rodrigo.** Evaluación del humedal artificial de la hostería cuicocha, utilizado para el tratamiento de aguas residuales domésticas.(Trabajo de Titulación). [En línea] 2011. [Consulta: 5 noviembre 2017]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3984/1/CD-3757.pdf>.
33. **Secretaría Nacional del Agua, SENAGUA.** NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES. [En línea] 2012. [Consulta: 3 diciembre 2017.] Disponible en: [http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma\\_urbana\\_para\\_estudios\\_y\\_disenos.pdf](http://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma_urbana_para_estudios_y_disenos.pdf). pp. 309-315.
34. **Silva, Juan.** *Humedales Construidos.* [En línea]. [Consulta: 15 diciembre 2017]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/humedales.pdf>. pp. 1-18
35. **Spellman, Frank.** *Handbook of water & wastewater treatment plant operations.* United States of America : Lewis Publishers, 2003.
36. **Universidad Estatal de Bolívar, UEB. 2013.** *Perfil territorial y Análisis de Vulnerabilidad del Cantón Guaranda.* Guaranda : UEB, 2013. pp. 10-29.



## ANEXOS

### ANEXO A. Tabla 9, Libro VI, TULSMA. Límites de descarga 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
Mangane so total	Mn	mg/l	2,0
Mate ri a flotante	Visibles		Ausencia
Me rcuri o 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 totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
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	<sup>□ 2</sup> S °C	mg/l	0,5
Temperatura			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

## ANEXO B. Caracterización Inicial del Agua Residual



### LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES



Nº SE: 253-17

#### INFORME DE ANALISIS

**NOMBRE:** Miguel Ángel Pilco **INFORME Nº** 253- 17  
**EMPRESA:** Proyecto de Tesis ESPOCH **Nº SE:** 253-17  
**DIRECCIÓN:** Av. 5 de Junio y Pedro Allán - Guaranda

**TELÉFONO:** 0999562523 **FECHA DE RECEPCIÓN:** 12 - 10 -17  
**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1, Agua residual doméstica, Guanujo, Guaranda **FECHA DE INFORME:** 19 - 10 -17  
**IDENTIFICACIÓN:** MA - 430-17 **TIPO DE MUESTRA:** Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

#### RESULTADO DE ANÁLISIS

MA - 430-17

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U/(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	[H <sup>+</sup> ]	PE-LSA-01	7,33	+/- 0,08	12 - 10 - 17
Conductividad	µS/cm	PE-LSA-02	367	+/- 8 %	12 - 10 - 17
* Detergentes	mg/l	STANDARD METHODS 5540 - C mod	0,34	N/A	12 - 10 - 17
* Aceites y Grasas	mg/l	EPA 418.1	34	N/A	12 - 10 - 17
* Color Real	Upt-co	STANDARD METHODS 2120 C	59	N/A	12 - 10 - 17
* Turbiedad	FTU - NTU	STANDARD METHODS 2130 B	60,15	N/A	12 - 10 - 17
* Sólidos Suspendidos	mg/l	STANDARD METHODS 2540 - D	147	N/A	12 - 10 - 17
Sólidos Totales	mg/l	PE-LSA-04	592	N/A	12 - 10 - 17
DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	233	+/- 10 %	12 - 10 - 17
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	153	N/A	12 - 10 - 17
* Fósforo Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - P - E mod	0,32	N/A	12 - 10 - 17
* Sulfatos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 SO4-E	46	N/A	12 - 10 - 17
* Hierro Total	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Fe - 3111 B	2,3	N/A	12 - 10 - 17
* Nitrógeno Total	mg/l	STANDARD METHODS 4500 - N - B mod	19	N/A	12 - 10 - 17
* Coliformes Fecales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	7800	N/A	12 - 10 - 17
* Coliformes Totales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	18000	N/A	12 - 10 - 17

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.




#### RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara  
 Benito Mendoza T., Ph.D.



Dr. Juan Carlos Lara R.  
 TECNICO L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
 -Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

# ANEXO C. Caracterización del agua residual con 3 días de retención en el humedal

	<b>LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES</b>																									
N° SE: 262-17																										
<b>INFORME DE ANALISIS</b>																										
<b>NOMBRE:</b>	Miguel Ángel Pilco	<b>INFORME N°</b> 262-17																								
<b>EMPRESA:</b>	Proyecto de Tesis ESPOCH	<b>N° SE:</b> 262-17																								
<b>DIRECCIÓN:</b>	Av. 5 de Junio y Pedro Allán - Guaranda	<b>FECHA DE RECEPCIÓN:</b> 27- 11 -17																								
<b>TELÉFONO:</b>	0999562523	<b>FECHA DE INFORME:</b> 04 - 12- 17																								
<b>NÚMERO DE MUESTRAS:</b>	1, Agua residual doméstica, Chaquishca, Guanujo, Guaranda	<b>TIPO DE MUESTRA:</b>																								
<b>IDENTIFICACIÓN:</b>	MA - 467-17	Agua																								
El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.																										
<b>RESULTADO DE ANÁLISIS</b>																										
MA - 467-17																										
<table border="1" style="width: 100%;"><thead><tr><th>PARÁMETROS</th><th>UNIDADES</th><th>MÉTODO/PROCEDIMIENTO</th><th>RESULTADO</th><th>U(K=2)</th><th>FECHA DE ANÁLISIS</th></tr></thead><tbody><tr><td>* Sólidos Suspendidos</td><td>mg/l</td><td>STANDARD METHODS 2540 - D</td><td>49</td><td>N/A</td><td>12 - 10 - 17</td></tr><tr><td>DQO</td><td>mg/l</td><td>STANDARD METHODS 5220 - D mod</td><td>87</td><td>+/- 10 %</td><td>12 - 10 - 17</td></tr><tr><td>* DBO5</td><td>mg O2/l</td><td>STANDARD METHODS 5210 - B</td><td>42</td><td>N/A</td><td>12 - 10 - 17</td></tr></tbody></table>	PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS	* Sólidos Suspendidos	mg/l	STANDARD METHODS 2540 - D	49	N/A	12 - 10 - 17	DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	87	+/- 10 %	12 - 10 - 17	* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	42	N/A	12 - 10 - 17		
PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS																					
* Sólidos Suspendidos	mg/l	STANDARD METHODS 2540 - D	49	N/A	12 - 10 - 17																					
DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	87	+/- 10 %	12 - 10 - 17																					
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	42	N/A	12 - 10 - 17																					
<b>MÉTODOS UTILIZADOS:</b> Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.																										
<b>RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:</b>																										
Dr. Juan Carlos Lara Benito Mendoza T., Ph.D.																										
 Dr. Juan Carlos Lara R. TÉCNICO L.S.A.																										
<p>-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s). -Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.</p>																										
Página 1 de 1		FMC2101-01																								
L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 ½ vía a Guano Bloque Administrativo.																										

## ANEXO D. Caracterización del agua residual luego de la tratabilidad

	<b>LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES</b>	
N° SE: 262-17		
<b>INFORME DE ANALISIS</b>		
<b>NOMBRE:</b> Miguel Ángel Pilco	<b>INFORME N°</b> 262-17	
<b>EMPRESA:</b> Proyecto de Tesis ESPOCH	<b>N° SE:</b> 262-17	
<b>DIRECCIÓN:</b> Av. 5 de Junio y Pedro Allán - Guaranda		
<b>TELÉFONO:</b> 0999562523	<b>FECHA DE RECEPCIÓN:</b> 01-12-17	
	<b>FECHA DE INFORME:</b> 08-12-17	
<b>NÚMERO DE MUESTRAS:</b> 1, Agua residual doméstica, Chaquishca, Guanujo, Guaranda	<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	
<b>IDENTIFICACIÓN:</b> MA - 467-17	Agua	

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

**RESULTADO DE ANÁLISIS**


MA - 467-17

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Aceites y grasas	mg/l	EPA 418.1	9	N/A	01-12-17
* Sólidos Suspendidos	mg/l	STANDARD METHODS 2540 - D	23	N/A	01-12-17
DQO	mg/l	STANDARD METHODS 5220 - D mod	28	+/- 10 %	01-12-17
* DBO5	mg O2/l	STANDARD METHODS 5210 - B	17	N/A	01-12-17
* Coliformes Fecales	UFC/100 ml	STANDARD METHODS 9221 C	<1 (Ausencia)	N/A	01-12-17

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN.

**RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:**

Dr. Juan Carlos Lara  
Benito Mendoza T., Ph.D.

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Juan Carlos Lara R.  
TECNICO L.S.A.




-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

FMC2101-01

Página I de I

L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 ½ vía a Guano Bloque Administrativo.

## ANEXO E. Análisis de parámetros hidrogeológicos del humedal

	<b>LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES</b>									
N° SE: 005-18										
<b>INFORME DE ANALISIS</b>										
<b>NOMBRE:</b> Miguel Ángel Pilco	<b>INFORME N°</b> 005- 18									
<b>EMPRESA:</b> Proyecto de Tesis ESPOCH	<b>N° SE:</b> 005-18									
<b>DIRECCIÓN:</b> Av. 5 de Junio y Pedro Allán - Guaranda	<b>FECHA DE RECEPCIÓN:</b> 14 - 02 -18									
<b>TELÉFONO:</b> 0999562523	<b>FECHA DE INFORME:</b> 21 - 02- 18									
<b>NÚMERO DE MUESTRAS:</b> 3, Arena, grava, tierra										
El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.										
<b>RESULTADOS DE ANÁLISIS</b>										
<b>Velocidad Darcy Horizontal</b>										
<table border="1" style="width: 100%;"><thead><tr><th>TIPO DE MATERIAL</th><th>q (m/s)</th></tr></thead><tbody><tr><td>ARENA</td><td>5,75E-05</td></tr><tr><td>GRAVA</td><td>2,06E-04</td></tr><tr><td>TIERRA</td><td>5,42E-06</td></tr></tbody></table>			TIPO DE MATERIAL	q (m/s)	ARENA	5,75E-05	GRAVA	2,06E-04	TIERRA	5,42E-06
TIPO DE MATERIAL	q (m/s)									
ARENA	5,75E-05									
GRAVA	2,06E-04									
TIERRA	5,42E-06									
<b>Velocidad Darcy horizontal media del lecho filtrante</b>										
<table border="1" style="width: 100%;"><thead><tr><th>TIPO DE MATERIAL</th><th>q (m/s)</th></tr></thead><tbody><tr><td>Lecho filtrante</td><td>8,96E-05</td></tr></tbody></table>			TIPO DE MATERIAL	q (m/s)	Lecho filtrante	8,96E-05				
TIPO DE MATERIAL	q (m/s)									
Lecho filtrante	8,96E-05									
<b>Velocidad de Flujo Horizontal</b>										
<table border="1" style="width: 100%;"><thead><tr><th>TIPO DE MATERIAL</th><th>v (m/s)</th></tr></thead><tbody><tr><td>ARENA</td><td>1,38E-04</td></tr><tr><td>GRAVA</td><td>6,34E-04</td></tr><tr><td>TIERRA</td><td>1,03E-05</td></tr></tbody></table>			TIPO DE MATERIAL	v (m/s)	ARENA	1,38E-04	GRAVA	6,34E-04	TIERRA	1,03E-05
TIPO DE MATERIAL	v (m/s)									
ARENA	1,38E-04									
GRAVA	6,34E-04									
TIERRA	1,03E-05									
<b>Velocidad media de Flujo Horizontal del lecho filtrante</b>										
<table border="1" style="width: 100%;"><thead><tr><th>TIPO DE MATERIAL</th><th>v (m/s)</th></tr></thead><tbody><tr><td>Lecho filtrante</td><td>2,61E-04</td></tr></tbody></table>			TIPO DE MATERIAL	v (m/s)	Lecho filtrante	2,61E-04				
TIPO DE MATERIAL	v (m/s)									
Lecho filtrante	2,61E-04									
										
<small>-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s). -Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.</small>										
Página 1 de 5		FMC2101-01								
<small>L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 ½ vía a Guano Bloque Administrativo.</small>										

**Porosidad**

TIPO DE MATERIAL	n
ARENA	0.418
GRAVA	0.325
TIERRA	0.528

**Porosidad media del lecho filtrante**

TIPO DE MATERIAL	n
Lecho filtrante	0.42375

**Conductividad hidráulica**

TIPO DE MATERIAL	K (m/s)
ARENA	5,21E-02
GRAVA	6,21E-02
TIERRA	1,31E-03

**Conductividad hidráulica media del lecho filtrante**

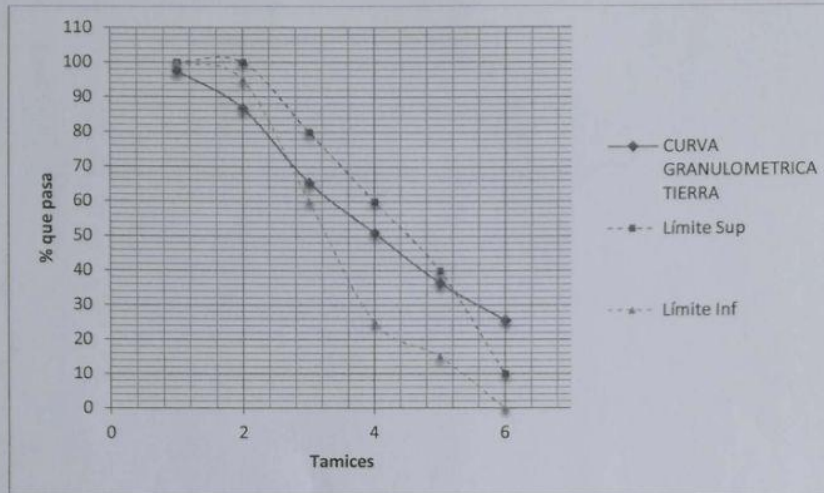
TIPO DE MATERIAL	K (m/s)
Lecho filtrante	3,85E-02

**CURVA GRANULOMÉTRICA****ARENA**

Tamiz	Tamiz	Dimensión (mm)	Masa retenida (g)	% retenido	% ret acum	% que pasa	Límite Sup	Límite Inf
1	16	1.18	312.00	62.40	62.40	37.60	100.00	100.00
2	20	0.850	153.00	30.60	93.00	7.00	100.00	95.00
3	30	0.6	11.00	2.20	95.20	4.80	80.00	60.00
4	40	0.425	4.00	0.80	96.00	4.00	60.00	25.00
5	50	0.30	2.00	0.40	96.40	3.60	40.00	15.00
6	60	0.250	0.50	0.10	96.50	3.50	10.00	0.00
7	100	0.15	2.00	0.40	96.90	3.10	5.00	0.00
8	Bandeja		11.00	2.20	99.10	0.90	0.00	0.00
	<b>TOTAL</b>		<b>495.5</b>	<b>99</b>				

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.



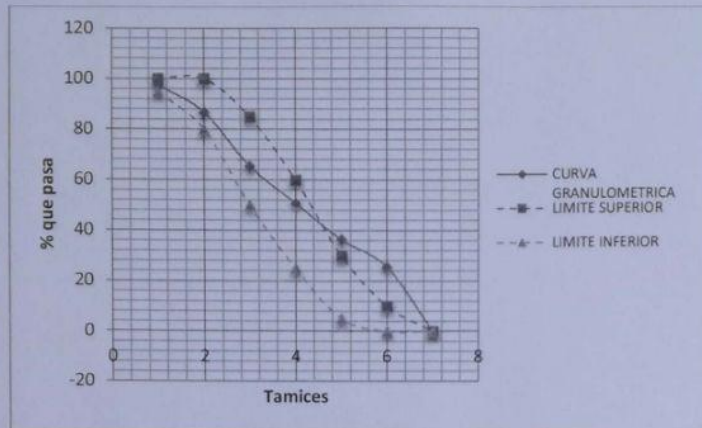


CURVA GRANULOMÉTRICA  
TIERRA

Tamiz	Tamiz	Dimensión mm	Masa retenida	% retenido	% ret acum	% que pasa	Limite Sup	Limite Inf
1	No 4	4.75	24.00	2.40	2	98	100	95
2	No 8	2.35	108.00	10.80	13	87	100	80
3	No 16	1.18	213.00	21.30	35	66	85	50
4	No 30	0.60	146.00	14.60	49	51	60	25
5	No 50	0.30	144.00	14.40	64	37	30	5
6	No 100	0.15	109.00	10.90	74	26	10	0
7	Bandeja		255.00	25.50	100	0	0	0
	<b>TOTAL</b>		<b>999.00</b>	<b>99.90</b>				

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.





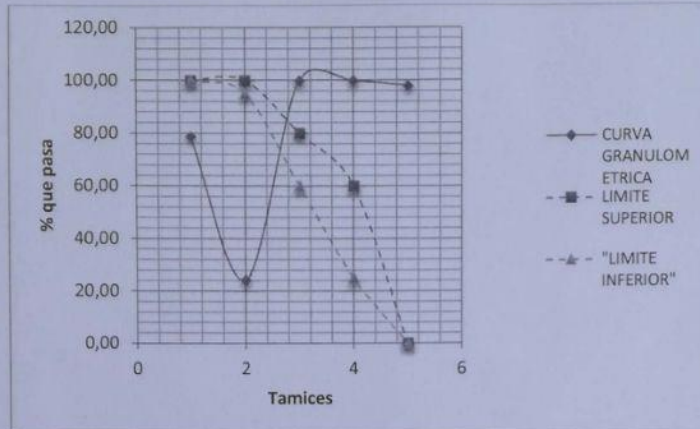
CURVA GRANULOMÉTRICA  
GRAVA

Tamiz	Tamiz	Dimensión mm	Masa retenida	% retenido	% ret acum	% que pasa	Limite Sup	Limite Inf
1	3/8"	9.50	106.0	21	21	79	100	100
2	4	4.75	379.0	76	76	24	100	95
3	8	2.36	1.0	0	0	3	80	60
4	16	1.18	0.5	0	0	2	60	25
8	Bandeja		10.0	2	2	0	0	0
	<b>TOTAL</b>		<b>496.5</b>	<b>99</b>				




-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.





RESPONSABLE DEL ANÁLISIS:

Benito Mendoza T., Ph.D.

  
Benito Mendoza T., Ph.D.  
TECNICO L.S.A.



-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

## **ANEXO F. Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema de Tratamiento.**

### **Manual de Operación y Mantenimiento para el Sistema de Tratamiento para las Aguas Residuales generadas en el sector “Chaquishca”**

#### **Introducción**

Conocer la operación y el mantenimiento en un sistema de tratamiento de aguas residuales es indispensable para ejecutar de manera adecuada los procesos y para lograr una buena eficiencia en la remoción de material contaminante de acuerdo con lo esperado y considerando los parámetros de diseño empleados. El proceso de mantenimiento puede ser preventivo o correctivo. Con un mantenimiento correcto se previenen problemas futuros que puedan ocasionarse en el Sistema.

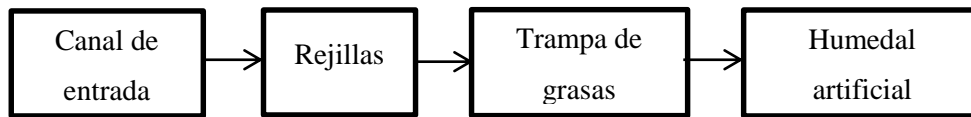
#### **1. Descripción de Operación del Sistema de Tratamiento.**

El Sistema de Tratamiento para las Aguas Residuales generadas en Chaquishca, inicia en un canal de entrada que se encargará de enviar el flujo de agua hacia la planta de tratamiento. Este canal nos permitirá obtener una velocidad de flujo uniforme sin turbulencias o cambios bruscos de su comportamiento dinámico.

Dentro del canal de ingreso se ubica un sistema de rejillas como parte del pre-tratamiento. Estas rejillas tienen como función retener cualquier material sólido de gran tamaño como piedras, pedazos de madera, etc., elementos que podrían producir atascamientos del flujo de agua o daño en los dispositivos. Posteriormente mediante el uso de rastrillos se debe retirar este material sólido.

El agua residual continúa su camino hacia una trampa de grasas. Se trata de un dispositivo en forma de tanque rectangular en el que se almacenará el agua residual y que tiene por función separar los aceites y grasas del agua residual, gracias a la diferencia de densidades que presentan. Las grasas al ser más livianas que el agua subirán a la superficie y de este modo podrán ser extraídas manualmente.

Posterior a la trampa de grasas se ubica un humedal artificial. El humedal es un sistema de tratamiento que asemeja una laguna en el que se ubican plantas acuáticas, en este caso Totoras, plantadas en un lecho de grava. Este sistema se utiliza para disminuir la concentración sólidos y de materia orgánica presente en el agua residual.



**Figura 1:** Esquema de operación de la planta

## 2. Características de diseño del Sistema de Tratamiento

Características	Valor	Unidad
<b>Canal de Entrada</b>		
Caudal de diseño	6,56	L/s
Ancho del canal	25	cm
Altura de agua en el canal	4,6	cm
Longitud del Canal	3	m
Velocidad de Flujo	0,57	m/s
Altura total del canal	0,25	m
<b>Rejillas</b>		
Número de rejillas	6	-
Longitud de las rejillas	28	cm
Ángulo de inclinación de rejillas	45	grados
Espesor de las rejillas	1	cm
Separación entre rejillas	2,5	cm
<b>Trampa de Grasas</b>		
Área del tanque	1,64	m <sup>2</sup>
Ancho del tanque	0,64	m
Largo del tanque	2,56	m
Profundidad del tanque	1	m
<b>Humedal Artificial</b>		
Ancho del humedal	29,17	m
Longitud del humedal	58,34	m
Área del humedal	1701,66	m <sup>2</sup>
Tiempo de retención del flujo	3	días

## 3. Actividades de Operación y Mantenimiento Generales

### Determinación de Caudales

**Responsable:** Operador de la PTAR

**Procedimiento:**

Los caudales serán determinados al Ingreso y Salida de cada proceso dentro del sistema de tratamiento.

- Dejar llenar un balde de 10 L contabilizando el tiempo que toma la operación.
- Anotar el tiempo registrado que tarda en llenarse el volumen del balde.
- Mediante el uso de una calculadora dividir el volumen de agua para el tiempo.
- Realizar el procedimiento varias veces en intervalos de 5 min entre medidas.
- Promediar los valores.
- Anotar el valor promedio en fichas técnicas de caudal.

Las mediciones de caudal deben hacerse en horas pico; de 8:00 a 9:00; de 12:00 a 13:00; de 18:00 a 19:00

**Mantenimiento de las Rejillas**

**Responsable:** Operador de la PTAR

**Procedimiento:**

- Con la ayuda de un rastrillo retirar el material sólido retenido en las rejillas.
- Depositar los desechos recogidos en un recipiente plástico perforado en el fondo para que sean escurridos y posteriormente recogidos el día de recolección de la basura.
- Limpiar con un cepillo grueso las rejillas.

Esta operación debe realizarse dos veces por semana y en épocas de lluvia con mayor periodicidad.

**Mantenimiento de la Trampa de Grasas**

**Responsable:** Operador de la PTAR

**Procedimiento:**

- Levantar la cubierta de la trampa de grasas.
- Inspeccionar el nivel de agua y los componentes de la trampa de grasas.
- Usar una cubeta para retirar las grasas acumuladas en la superficie.
- Almacenar en un contenedor cilíndrico los aceites y las grasas eliminados.
- Limpiar las paredes superiores y la tapa de la trampa de grasas con el uso de jabón arranca grasa.
- Colocar nuevamente la cubierta de la trampa de grasas.

Esta limpieza se realizará una vez por semana o con mayor periodicidad dependiendo de la cantidad de aceites y grasas retenidas en el dispositivo.

### **Mantenimiento del Humedal Artificial**

**Responsable:** Operador de la PTAR

#### **Procedimiento:**

- Verificar si no existen fugas o infiltraciones en el perímetro del humedal y en las zonas de ingreso y salida del agua residual.
- Observar si no existe la proliferación de insectos en el humedal y verificar si existen malos olores. En caso de observarse estos dos inconvenientes se debe evaluar si se ha producido un estancamiento de agua.
- Si existe atascamiento se debe remover la vegetación y el sustrato a fin de direccionar el flujo hacia la salida del humedal.
- Realizar la poda de las plantas cuando estas presenten una altura excesiva o cuando se presente una alta densidad de vegetación. La poda se debe realizar mediante un corte en el tallo a una altura de 25 o 30 cm medidos desde la superficie del humedal.
- Retirar inmediatamente la vegetación que haya perecido ya que la acumulación de la misma generará un DBO residual que afectará la calidad del efluente y retirar los desechos que podrían causar estancamientos del sistema.
- Controlar la aparición de roedores ya que pueden causar daños en la vegetación.
- Verificar periódicamente el nivel de agua para evitar acumulaciones superficiales excesivas.
- Inspeccionar regularmente la vegetación, eliminando especies invasoras que puedan afectar al sistema.

### **Mantenimiento de Tuberías**

**Responsable:** Operador de la PTAR

#### **Procedimiento:**

Las tuberías deben mantenerse completamente limpias sin obstrucciones o acumulaciones de cualquier naturaleza. Para su limpieza se debe:

- Remover con una varilla la suciedad que se encuentre adherida a éstas.

- Si existe un taponamiento se debe agregar agua a presión hasta que la tubería esté completamente limpia.

### **Determinación de pH, Conductividad y Temperatura**

**Responsable:** Técnico encargado de la PTAR

#### **Procedimiento:**

Estos parámetros deben ser determinados al Ingreso y Salida de los procesos que componen el Sistema de tratamiento a fin de evaluar su correcto funcionamiento. El equipo multiparámetro a usarse debe estar correctamente calibrado previo a su utilización.

- Recoger el agua residual en un vaso de precipitación con capacidad para 250 ml.
- Colocar el electrodo, que realizará la medida, en el agua residual.
- Esperar que los valores se estabilicen.
- Anotar en la respectiva ficha técnica los valores obtenidos

Para una descripción más detallada se debe consultar el manual del dispositivo multiparámetro a usarse.

### **Determinación de Parámetros Contaminantes**

**Responsable:** Técnico encargado de la PTAR

#### **Procedimiento:**

Se trabajará con muestras compuestas a partir de muestras simples obtenidas a diferentes horarios.

- Recoger en frascos estériles un volumen de 4 litros de muestra del agua residual tanto al inicio como al final del Sistema de Tratamiento.
- Colocar en los envases la hora y punto de recolección, así como también un código de muestreo.
- Colocar las muestras en una hielera a fin de precautelar la conservación de las mismas.
- Enviar las muestras a analizar en el laboratorio lo más pronto posible.

Se debe realizar esta determinación de parámetros contaminantes cada 3 o 4 meses con la finalidad de evaluar el correcto funcionamiento del Sistema.

#### **4. Consideraciones Técnicas de Operación del Sistema de Tratamiento**

- El caudal de diseño es de 6,56 L/s. Si existe una gran disminución del caudal se deberá verificar que no exista ningún taponamiento del flujo a lo largo de todo el Sistema.
- La velocidad de flujo hacia el ingreso de las rejillas debe ser mayor a 0,30 m/s para evitar sedimentación en el canal.
- El pH del agua residual debe encontrarse en un rango entre 6 – 9 para precautelar la integridad de los dispositivos y de la vegetación utilizada en el humedal.





#### **5. Seguridad y Prevención**

Tanto el operador de la planta de tratamiento como el técnico de la misma deberán utilizar el Equipo de Protección Personal (EPP) que tiene por objetivo precautelar la integridad de las personas encargadas de controlar el Sistema de Tratamiento.

El EPP a usarse en el Sistema de Tratamiento debe estar compuesto por:

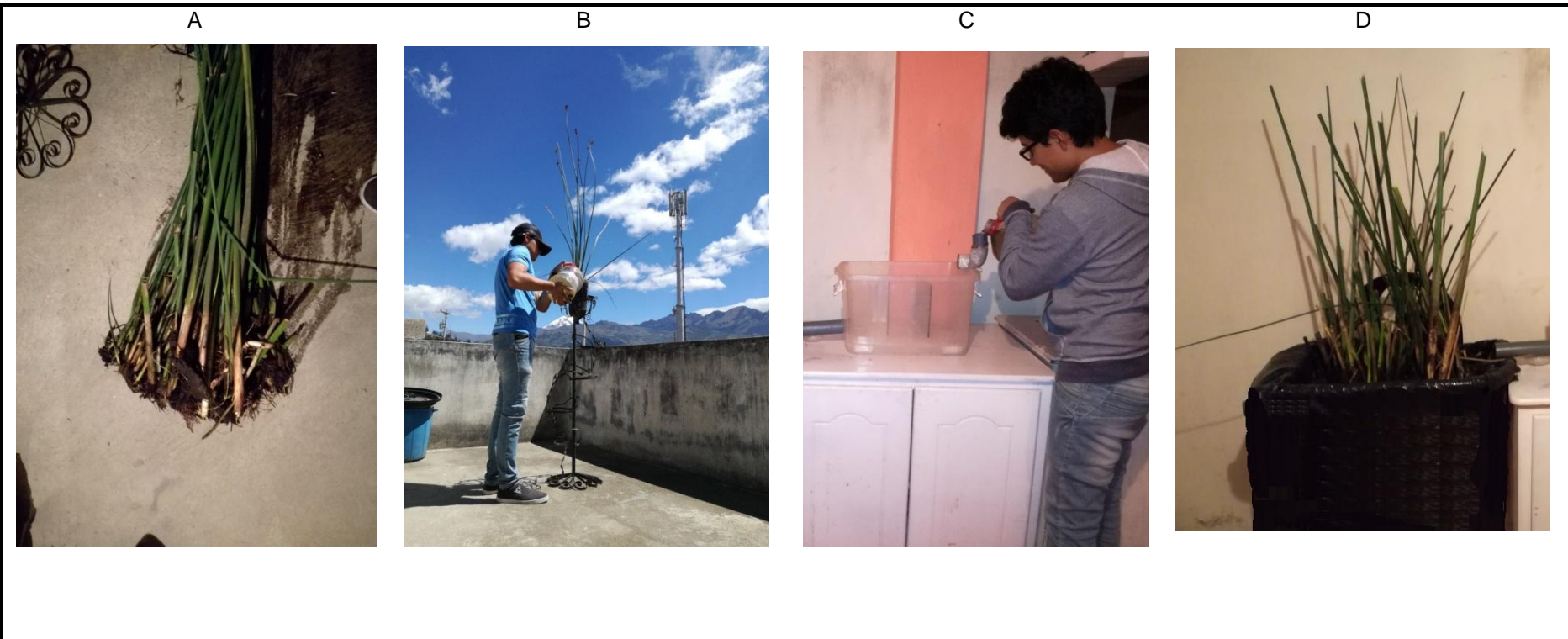
- Gorra
- Mascarilla
- Guantes
- Uniforme completo
- Botas de hule

**ANEXO G. Puntos de descarga y recolección de muestras del agua residual**

A	B	C	D
			
<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b>		<b>ESPOCH</b>
A. Tubería de descarga.	CERTIFICADO                      POR ELIMINAR		DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN EL SECTOR “CHAQUISHCA”, PARROQUIA GUANUJO, CANTÓN GUARANDA.
B. Canal de descarga.	APROBADO                              POR CALIFICAR		
C. Muestras recolectadas	POR APROBAR <b><u>INFORMACIÓN</u></b>		
D. Medición de parámetros in situ			FACULTAD DE CIENCIAS <b>INGENIERÍA QUÍMICA</b>
			MIGUEL ÁNGEL PILCO TOSCANO

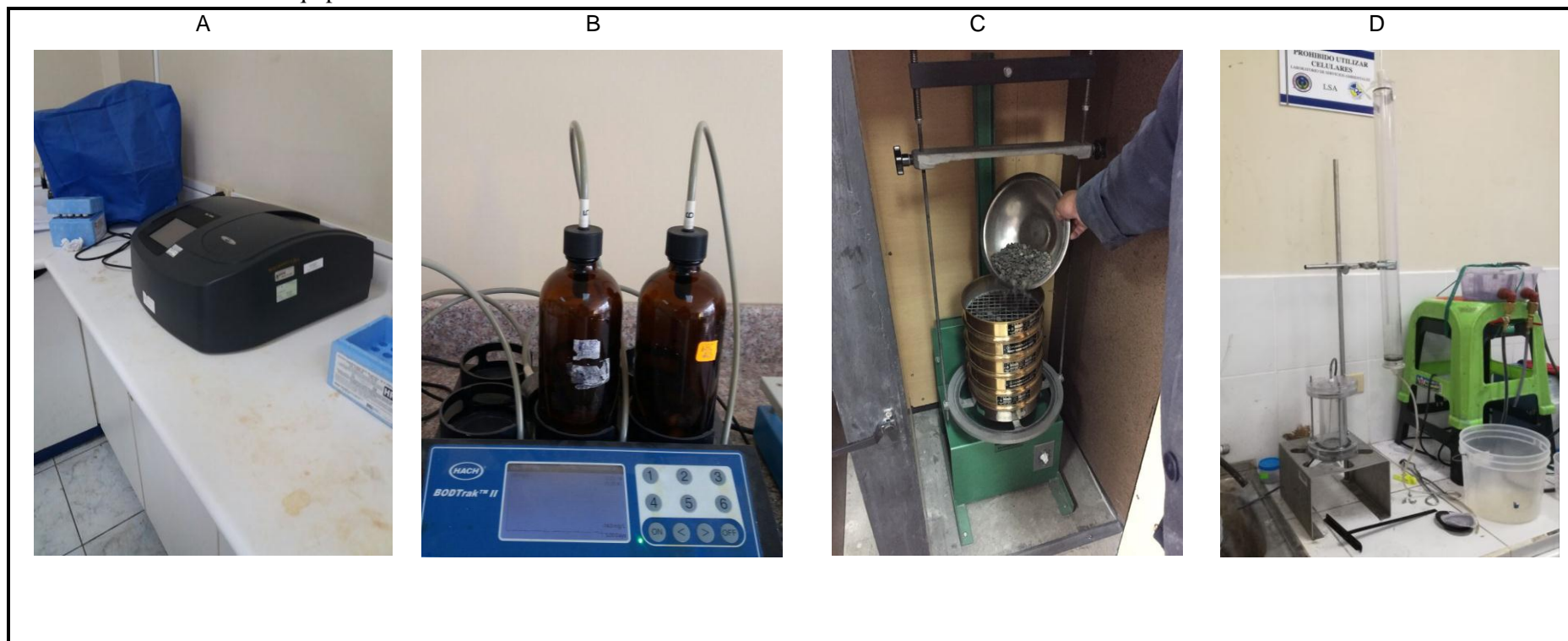


**ANEXO H. Pruebas de Tratabilidad**



<p style="text-align: center;"><b>NOTAS</b></p> <p>A. Vegetación usada en el humedal</p> <p>B. Humedal para adaptabilidad</p> <p>C. Trampa de grasas</p> <p>D. Humedal Piloto</p>	<p style="text-align: center;"><b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:</b></p> <p>CERTIFICADO                      POR ELIMINAR</p> <p>APROBADO                          POR CALIFICAR</p> <p>POR APROBAR                      <b><u>INFORMACIÓN</u></b></p>	<p style="text-align: center;"><b>ESPOCH</b></p> <p style="text-align: center;"><b>FACULTAD DE CIENCIAS</b></p> <p style="text-align: center;"><b>INGENIERÍA QUÍMICA</b></p> <p style="text-align: center;">MIGUEL ÁNGEL PILCO TOSCANO</p>	<p style="text-align: center;">DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN EL SECTOR “CHAQUISHCA”, PARROQUIA GUANUJO, CANTÓN GUARANDA.</p>
---	---	--	---

**ANEXO I. Determinados equipos de laboratorio**



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:	ESPOCH	DISEÑO DE UN SISTEMA DE
A. Espectrofotómetro HACH	CERTIFICADO	FACULTAD DE CIENCIAS	TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS
B. Digestor DBO5	POR ELIMINAR	INGENIERÍA QUÍMICA	RESIDUALES GENERADAS EN EL SECTOR
C. Torre de tamices	APROBADO	MIGUEL ÁNGEL PILCO TOSCANO	“CHAQUISHCA”, PARROQUIA GUANUJO,
D. Permeámetro	POR APROBAR		CANTÓN GUARANDA.
	INFORMACIÓN		

ANEXO J. Planos del Sistema de Tratamiento

