



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CUENCA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,  
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES DESCARGADAS EN LA QUEBRADA  
HUIZHIL DE LA CIUDAD DE CUENCA**

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

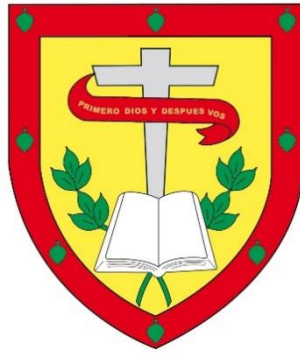
**AUTOR: MARÍA DOMÉNICA ESPINOZA ESQUIVEL**

**DIRECTOR: ING. GOETHE EMMANUEL PALOMEQUE  
LARRIVA MGS.**

**AZOGUES - ECUADOR**

**2021**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,  
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
DESCARGADAS EN LA QUEBRADA HUIZHIL DE LA CIUDAD DE  
CUENCA

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERA CIVIL

**AUTOR: MARÍA DOMÉNICA ESPINOZA ESQUIVEL**

**DIRECTOR: ING. GOETHE EMMANUEL PALOMEQUE  
LARRIVA MGS.**

**AZOGUES-ECUADOR**

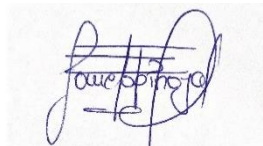
**2021**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**

**Declaratoria de Autoría y Responsabilidad**

**María Doménica Espinoza Esquivel** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0302596622**. Declaro ser el autor de la obra: **“Propuesta de tratamiento de aguas residuales descargadas en la quebrada Huizhil de la ciudad de Cuenca”**, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Azogues, **21 de octubre de 2021**



F: .....

**María Doménica Espinoza Esquivel**

**C.I. 0302596622**

## UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

Oficio Nro. UCACUE-GP-G-21-22-009  
Azogues, 21 de octubre de 2021.

**ASUNTO: Informe calificación trabajo de titulación.**

Ingeniero.

Ricardo Romero G. Mgs.

**DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL – SEDE AZOGUES.**

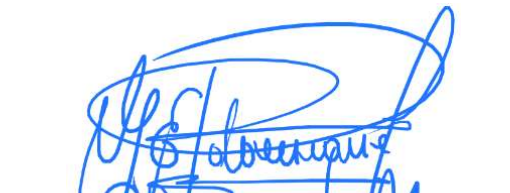
**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN.**

De mi consideración.

Adjunto al presente, sírvase encontrar la rúbrica de evaluación del proceso de trabajo de titulación de la estudiante ESPINOZA ESQUIVEL MARÍA DOMÉNICA, que fue desarrollado bajo mi tutoría y que se denomina: “*PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DESCARGADAS EN LA QUEBRADA HUIZHIL DE LA CIUDAD DE CUENCA*”. Me permito informar además que, el trabajo ha sido completado en su totalidad bajo mi supervisión y considero que es apto para continuar con los trámites correspondientes para su titulación. La nota final del trabajo escrito obtenida es de **38/50**.

Sin otro particular.

Atentamente,



Ing. Goethe Palomeque L. MSc.

**DOCENTE FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL.  
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA – SEDE AZOGUES**

## DEDICATORIA

*El presente trabajo de titulación quiero dedicar primeramente a Dios, por darme salud y fuerza para coronar esta etapa tan significativa en mi vida. Dedico con todo mi amor a mi esposo Freddy, quien ha estado apoyándome día tras día y por creer en mi capacidad de culminar este proyecto. A mi hijo Nicolás que viene en camino, por darme la mayor fortaleza para afrontar cada dificultad que se presentó. A mis padres Miguel y Lola por ser mis pilares fundamentales en vida, quienes con su esfuerzo, amor y paciencia me ayudaron a cumplir un sueño más. A mis hermanos Miguel y Byron, mi cuñada Valeria y a mi sobrina Hanyuri, por todo su apoyo y consejos que me han brindado para ser mejor cada día y salir siempre adelante.*

*A mis amigas y compañeras que han están a mi lado siempre dándome ánimos y consejos para cumplir mis metas. A todos mis familiares quienes me han acompañado y guiado en cada paso, para ser una mejor persona, y que con sus alientos y oraciones me impulsaron a conseguir mis objetivos.*

## AGRADECIMIENTO

*A Dios por guiarme en cada momento, por sus bendiciones y salud durante este tiempo de mi vida para poder obtener mi título profesional.*

*A mi esposo, hijo, amigas y demás familiares, por la constancia, consejos y todas sus oraciones que me han regalado en el transcurso de esta etapa para cumplir mi sueños.*

*A mi director de trabajo de titulación Ing. Goethe Palomeque Larriva por impartir sus conocimientos, quien, con su amabilidad, paciencia y apoyo, me guio para desarrollar y culminar este trabajo.*

*A la Universidad Católica de Cuenca Sede Azogues y los docentes de la carrera de Ingeniería Civil quienes me han brindado sus conocimientos académicos y experiencia a lo largo de la carrera.*

## RESUMEN

La falta de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la quebrada Huizhil de la parroquia Baños, cantón Cuenca ha generado problemas de contaminación en las aguas y riveras de la quebrada. El propósito del presente trabajo es plantear un método de tratamiento adecuado que disminuya la contaminación del agua y brinde un mejor nivel de vida de la población.

Se realizó un levantamiento de información de la zona Huizhil determinando parámetros de diseño como población, caudal y calidad del agua mediante análisis estadísticos, ensayos en laboratorio y en campo, se aplicó una revisión bibliográfica para evaluar los sistemas de tratamiento de biodigestor y humedal, planteando una propuesta técnica sobre estos métodos, esperando que su empleo genere reducción de impactos.

Los parámetros establecidos para el diseño de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales son capaces suministrar un buen servicio a la población dando confiabilidad y economía por un largo período de tiempo. Como resultado se propuso un biodigestor autolimpiable de Rotoplas con capacidad de 3000 litros y un humedal de flujo subsuperficial horizontal con un área requerida de 175 m<sup>2</sup>. Los mismos que, al trabajar conjuntamente garantizan que las aguas residuales de la quebrada Huizhil disminuyan su grado de contaminación, brinden un adecuado bienestar social para los moradores de la zona y un bajo presupuesto de construcción y mantenimiento.

*Palabras clave:* Aguas residuales, contaminación, quebrada, sistemas de tratamiento.

## Abstract

MARIA DOMENICA ESPINOZA ESQUIVEL

The lack of a wastewater treatment system in the Huizhil ravine of Baños of Cuenca has generated pollution problems in the water and banks of the stream. This work aims to propose an adequate treatment method that reduces water pollution and provides a better living standard for the population.

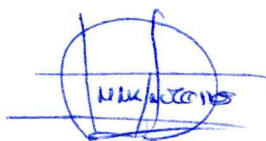
A survey to collect information of the Huizhil area was carried out determining design parameters such as population, flow, and water quality through statistical analysis, laboratory test, and field tests, a bibliographic review was applied to evaluate the biodigester and wetland treatment systems, proposing a technical proposal on these methods, hoping that their use will generate a reduction of impacts.

The parameters established for the design of wastewater treatment systems are capable of providing a good service to the population, providing reliability and economy for a long time. As a result, a Rotoplas self-cleaning biodigester with a capacity of 3000 liters, and a horizontal subsurface flow wetland with a required area of 175 m<sup>2</sup> were proposed. The same ones that, by working together, guarantee that the wastewater from the Huizhil stream will reduce its degree of contamination, providing adequate social well-being for the residents of the area, and a low budget for construction and maintenance.

**Keywords: wastewater, pollution, stream, treatment system.**

Azogues, 26 de octubre de 2021

EL CENTRO DE IDIOMAS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA, CERTIFICA QUE EL DOCUMENTO QUE ANTECEDE FUE TRADUCIDO POR PERSONAL DEL CENTRO PARA LO CUAL DOY FE Y SUSCRIBO.



**Abg. Liliana Urgilés Amoroso, Mgs.**  
**COORDINADORA CENTRO DE IDIOMAS AZOGUES**



## CONTENIDO

CAPITULO 1.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos .....	3
1.4. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	4
CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. CONCEPTOS GENERALES .....	5
2.1.1. Aguas Residuales .....	5
2.1.2. Características de la Aguas Residuales .....	5
2.1.3. Parámetros de calidad de las Aguas Residuales.....	6
2.1.4. Tratamiento de Aguas Residuales .....	9
2.1.5. Tipos de Tratamiento de Aguas Residuales.....	9
2.2. NORMATIVA.....	12
2.3. SISTEMA DE BIODIGESTOR.....	12
2.3.1. Uso del Biodigestor.....	12
2.3.2. Tipos de Biodigestor .....	14
2.4. SISTEMA DE HUMEDAL.....	17
2.4.1. Uso del Humedal .....	18
2.4.2. Tipos de Humedal.....	18
2.5. MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES.....	20
CAPITULO 3: METODOLOGÍA.....	22
3.1. Levantamiento de Información de la Zona de Estudio .....	22
3.1.1. Topografía.....	22

3.1.2. Tipo de Suelo.....	22
3.1.3. Tipo de Clima.....	23
3.1.4. Población de Diseño.....	23
3.1.5. Caudal.....	23
3.2 Calidad del Agua Residual.....	25
3.2.1. Ensayos del Agua Residual en laboratorio.....	26
3.2.2. Ensayos de Agua Residual in situ.....	26
3.3. Propuesta de Uso de Sistemas de tratamiento de Biodigestor y Humedal.....	28
3.3.2. Diseño del Biodigestor.....	28
3.3.3. Diseño del Humedal.....	30
CAPITULO 4: RESULTADOS.....	36
CAPITULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	41
CAPITULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	43
6.1. Conclusiones.....	43
6.2. Recomendaciones.....	44
BIBLIOGRAFÍA.....	45
ANEXOS.....	49
Anexo 1.....	49
Anexo 2.....	51
Anexo3.....	59

## CONTENIDO DE TABLAS:

Tabla 1: Relación a calcular en base al número de datos .....	25
Tabla 2: Tiempo de Retención Hidráulica .....	28
Tabla 3: Dimensiones de Biodigestores según su capacidad .....	30
Tabla 4: Parámetros Generales para el diseño de Humedales de Flujo Subsuperficial. ....	30
Tabla 5: Datos Generales para el Diseño del Humedal.....	31
Tabla 6: Constante de reacción según la Temperatura .....	33
Tabla 7: Caudales in situ, aplicando el método volumétrico .....	36
Tabla 8: Tabla de Resultados de los parámetros de diseño.....	36
Tabla 9: Resultados Análisis de Agua en laboratorio.....	37
Tabla 10: Resultados de Análisis y valor límite de los parámetros. ....	37
Tabla 11: Datos de análisis de agua in situ. ....	38
Tabla 12: Resultado del diseño del Biodigestor .....	38
Tabla 13: Resultados del diseño de Humedal.....	39
Tabla 14: Presupuesto aproximado de ejecución de los sistemas de tratamiento de aguas residuales .....	40
Tabla 15: Dimensiones del Biodigestor para el tratamiento de aguas residuales.....	42
Tabla 16: Superficies de Diseño Calculadas.....	42
Tabla 17: Análisis de la prueba Q para el día 1.....	52
Tabla 18: Análisis de la prueba Q para el día 1 continuación.....	52
Tabla 19: Análisis de la prueba Q para el día 2.....	53
Tabla 20: Análisis de la prueba Q para el día 3.....	53
Tabla 21: Análisis de la prueba Q para el día 4.....	54
Tabla 22: Análisis de la prueba Q para el día 5.....	54
Tabla 23: Análisis de la prueba Q para el día 5 continuación.....	55
Tabla 24: Análisis de la prueba Q para el día 5 continuación.....	55
Tabla 25: Análisis de la prueba Q para el día 5 continuación.....	55
Tabla 26: Análisis de la prueba Q para el día 5 continuación.....	56
Tabla 27: Análisis de la prueba Q para obtener el caudal in situ.....	56
Tabla 28: Resultados de análisis de agua in situ. Día 1.....	56
Tabla 29: Resultados de análisis de agua in situ. Día 2.....	57
Tabla 30: Resultados de análisis de agua in situ. Día 3.....	57
Tabla 31: Resultados de análisis de agua in situ. Día 4.....	58

Tabla 32: Resultados de análisis de agua in situ. Día 5.....	58
--	----

## CONTENIDO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Ubicación de la quebrada Huizhil.....	4
Ilustración 2: Sección Transversal de un tanque de sedimentación circular para tratamientos primarios.....	10
Ilustración 3: Biodigestor Diseño Chino.....	15
Ilustración 4: Biodigestor Diseño Hindú.....	15
Ilustración 5: Biodigestor Modelo Tubular.....	16
Ilustración 6: Biodigestor Modelo Media Bolsa.....	16
Ilustración 7: Partes de un Biodigestor .....	17
Ilustración 8: Modelo General de un Humedal.....	18
Ilustración 9: Humedal Superficial. ....	19
Ilustración 10: Humedal subsuperficial de flujo horizontal.....	20
Ilustración 11: Humedal subsuperficial de flujo vertical .....	20
Ilustración 12: Levantamiento topográfico de la zona de estudio. ....	22
Ilustración 13: Método volumétrico para el cálculo del Caudal. ....	24
Ilustración 14: Roedores, heces fecales, aceites y grasas en las aguas residuales de la quebrada Huizhil.....	25
Ilustración 15: Toma de muestras y análisis de agua de la quebrada Huizhil.....	26
Ilustración 16: Análisis de agua in situ con equipo multiparamétrico.....	27
Ilustración 17: Dimensiones del Biodigestor apto para el tratamiento de las aguas residuales de la quebrada Huizhil .....	42

## CAPITULO 1

### 1.1. INTRODUCCIÓN

En la parroquia de Baños, cantón Cuenca, las aguas residuales descargadas en la quebrada Huizhil requieren un adecuado sistema de tratamiento, debido a que generan un alto grado de contaminación, malos olores y molestias para los habitantes de la zona. Es por eso, que este trabajo plantea un sistema de tratamiento de biodigestor y humedal con el propósito de optimizar las situaciones del agua residual y la calidad de vida de los moradores de la zona. Por lo que, se realizará una evaluación técnica de la zona de estudio como: caudal de diseño, topografía, calidad del agua residual y condiciones climáticas, y en base a ello establecer la propuesta de solución.

El agua residual al no poseer un sistema de tratamiento alguno altera las condiciones físicas y químicas del cuerpo receptor, afectando flora y fauna presente en las riveras de la quebrada y crea una fuente de infección que puede provocar enfermedades de origen hídrico. Al exponer la implementación de los sistemas de biodigestor y humedal se aspira disminuir la cantidad de organismos patógenos y microorganismos existentes en el agua residual.

Para tratar adecuadamente las aguas contaminadas, es prioritario valorar la zona de estudio, realizar un control de las aguas residuales e investigar y evaluar los sistemas de tratamiento de biodigestor y humedal, planteando una propuesta técnica sobre estos sistemas, esperando que su empleo permita una mejora en la calidad de vida, salud y medio ambiente.

Por último, al considerar los sistemas para tratar las aguas contaminadas con biodigestor y humedal, garantiza que su funcionamiento y eficiencia disminuya la contaminación que hay en la quebrada Huizhil de la ciudad de Cuenca.

## 1.2. JUSTIFICACIÓN

Las consecuencias que generan las aguas residuales al no poseer un sistema de tratamiento son: problemas en la salud, generación de plagas, baja calidad de vida de los habitantes cercanos a la quebrada. Por lo que, un adecuado uso de biodigestor y humedal como sistemas de tratamiento de aguas residuales garantiza disminuir la polución del agua, proteger al ecosistema y asegurar que los habitantes estén en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado.

Actualmente, no existen estudios de sistema de tratamiento de biodigestor y humedal que actúen en forma conjunta, únicamente son investigaciones realizadas para que funcionen de manera independiente, por lo que es importante investigar y proponer el uso de biodigestor y humedal en común, con el propósito de obtener un adecuado método de tratamiento de las aguas contaminadas.

El proyecto a realizar es factible, puesto que se dispone de recursos y dispositivos adecuados que ayudan a la recolección de la información presente en el área de estudio Huizhil. Además, existen leyes y normas que se deben cumplir y seguir de manera óptima para garantizar una correcta propuesta del uso de los sistemas de biodigestor y humedal como sistemas de tratamiento para aguas residuales.

## 1.3. OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo General

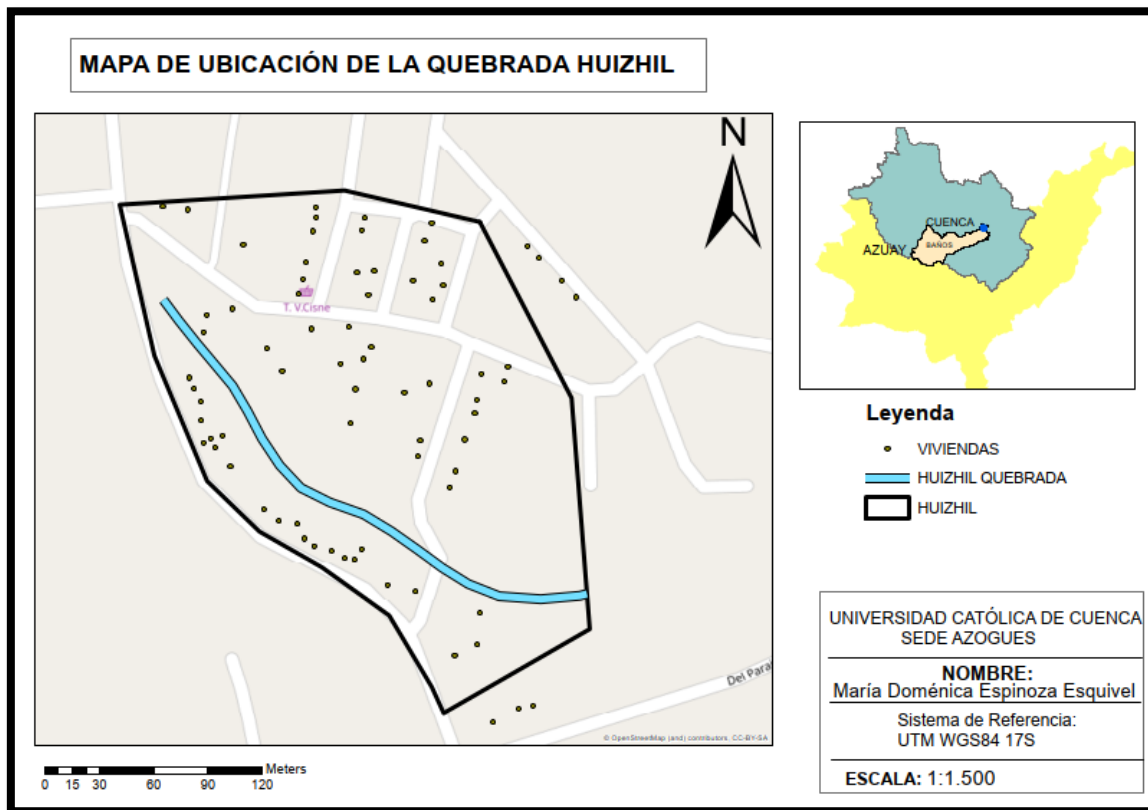
Plantear un sistema de tratamiento para las aguas residuales que desembocan en la quebrada Huizhil, por medio de un análisis de campo y estudio bibliográfico de la zona de influencia, con el fin de brindar un mejor nivel de vida reduciendo la contaminación del agua.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Definir las características de la zona de estudio por medio de un levantamiento topográfico con estación total y dron, con la intención de obtener un estudio técnico y descriptivo del terreno.
- Analizar la calidad de las aguas residuales a través de ensayos en laboratorio y muestras in situ para conocer la contaminación existente en las quebradas.
- Determinar el incremento poblacional de la zona de estudio aplicando métodos estadísticos para el diseño de los métodos de tratamiento de las aguas contaminadas.
- Demostrar que los sistemas de tratamiento de biodigestor y humedal reducirá la polución de las aguas residuales, mediante un análisis investigativo para determinar su implementación en la zona de estudio.

#### 1.4. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El tramo de análisis de la quebrada Huizhil se encuentra en la colina de la parroquia Baños, cantón Cuenca, provincia del Azuay.



*Ilustración 1: Ubicación de la quebrada Huizhil.*

## CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1. CONCEPTOS GENERALES

#### 2.1.1. Aguas Residuales

Son aguas compuestas por residuos sólidos y líquidos que nacen de un sistema de suministro de una comunidad y que se da por diferentes usos como: domésticas, comerciales, pecuarios, agrícolas e industriales. Las aguas residuales no pueden ser reutilizables sin un tratamiento previo ya que puede afectar a la salud humana [1].

Las sustancias inorgánicas como: líquidos cloacales, pinturas, aceites y productos químicos son tipos de desechos que generan un gran deterioro a la naturaleza y calidad del agua residual, pero en cuanto a sustancias orgánicas sus consecuencias son más notorios aún, ya que le transmiten propiedades peligrosas al líquido residual, porque debido a la descomposición los microorganismos y elementos patógenos asociados con estas aguas se ingieren de materia orgánica muerta que actúan sobre estos microorganismos dando aparición a olores fétidos y colores, que hacen eliminar la transparencia al líquido [2].

El origen de las aguas contaminadas es un resultado irremediable de toda acción humana. Es importante conocer los atributos químicos, físicos y microbiológicos de las aguas residuales, junto con la interpretación de las medidas de análisis y sus consecuencias sobre el cuerpo receptor para lograr un tratamiento adecuado [1].

#### 2.1.2. Características de la Aguas Residuales

Para conseguir un adecuado análisis de las aguas residuales en base a su propósito específico, es importante llevar un programa de muestro apto para interpretar las características de las aguas contaminadas, además, de un estudio en laboratorio de idoneidad que ratifiquen precisión de resultados cumpliendo con las diversas normativas [3].

Es fundamental comprender la naturaleza de las aguas residuales para todo proyecto con una adecuada calidad del medio ambiente. Son caracterizadas las aguas contaminadas por su composición química, física y biológica, la tabla 3.1 de Metcalf & Eddy [3] describe brevemente los componentes de las aguas residuales con su respectiva procedencia [4].

### 2.1.3. Parámetros de calidad de las Aguas Residuales.

Los constituyentes más significativos de calidad de las aguas residuales son:

#### 2.1.3.1. Materia Orgánica

Son sólidos provenientes del dominio vegetal, animal, ocupaciones humanas vinculadas con la composición orgánica; los mismos que están combinados por mezclas de hidrógeno, oxígeno, carbono y nitrógeno en algunos casos. En el agua residual aproximadamente el 40-50% son sólidos fijos y el 70% de Sólidos suspendidos pertenecen a la materia orgánica [4].

Dentro del agua residual la materia orgánica se clasifica en ciertos grupos: Proteínas (Aminoácidos, Urea); Carbohidratos (Azucres y Fibra de Madera); Aceites y Grasas y Surfactantes (Detergentes) [4].

#### 2.1.3.2. Oxígeno Disuelto

Dentro del tratamiento de las aguas contaminadas, el oxígeno disuelto es uno de los componentes más significativos puesto que, a fin conservar los procesos metabólicos, generar energía y realizar su producción la mayoría de los organismos depende de él. También, los valores de concentración del oxígeno disuelto indica el estado de contaminación del agua [4].

#### 2.1.3.3. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La DBO es la cantidad de oxígeno suficiente para deshacer los microorganismos que se encuentra en el agua residual por medio de microbios en situaciones aerobias. También, la DBO es provocada por la inhalación de las bacterias y suspenderá al consumirse completamente la materia orgánica [4].

Los análisis de DBO se aplican para: establecer la oxigenación suficiente que se requiere para fijar biológicamente los microorganismos actuales, valorar la eficacia de algunas técnicas de tratamiento, dimensionar los sistemas de tratamiento de aguas residuales y fiscalizar el cumplimiento de las restricciones que presentan los cuerpos receptores [3].

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), se analiza bajo los criterios de la norma-método 5210 B (SM), [5]. Aplicando la técnica Respirimetría que trata de medición e interpretación de la cuantía del gasto de oxígeno por parte del material orgánico en estudio, bajo contextos definidos y controlados. Es una técnica breve de aplicación de parámetros cinéticos y estequiométricos que definen la biodegradación aeróbica de compuestos de carbono [6].

#### **2.1.3.4. Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

La DQO es una manera indirecta de medir el material orgánico, por medio de la demanda de oxígeno de los constituyentes orgánicos, la DQO mide la engería contenida en los compuestos, en lugar de alterar la materia orgánica por medio del metabolismo bacterial, usa la respiración con agentes oxidantes en medio acido el dicromato de potasio. Generalmente, la DQO del agua residual es mayor a la DBO, puesto que hay más cantidad de componentes que presentan oxidación por reacción química en comparación a los que se oxidan por reacción biológica [4].

La Demanda Química de Oxígeno (DQO), se ensaya obedeciendo las condiciones de la norma-método ISO 15705 – DICROMATO. El cual, consiste en la oxidación de los organismos usando dicromato de potasio, sulfato de plata, ácido sulfúrico. Durante el proceso de digestión se oxida el material orgánico convirtiéndose en CO<sub>2</sub>, nitrato y agua [7].

#### **2.1.3.5. Sólidos**

La materia orgánica frecuentemente se encuentra en partículas en suspensión, los sólidos pueden ser ligeros o fijos según sus procedencias orgánicas e inorgánicas. Los sólidos totales son los sólidos disueltos más los suspendidos. El cálculo de los sólidos se obtiene gravimétricamente filtrando la muestra con ayuda de un filtro seco de peso conocido [4].

Los Sólidos Totales, se analiza en función de la norma-método 2450B-D(SM), este parámetro utiliza la técnica gravimétrica, que consta en la detención de las partículas sólidas en un filtro de vidrio por donde atraviesa una muestra uniforme, la muestra retenida se seca en un rango de 103 a 105°C. La cuantía que representa los sólidos totales es el aumento de peso del filtro [8].

#### **2.1.3.6. Potencial de hidrógeno (pH)**

Es la acumulación de iones de hidrogeno presentes en el agua, la cual muestra si está es un ácido frágil, o una solución alcalina. En base a la medida de alcalinidad del agua, se indica los rangos solubles de los compuestos químicos [9].

El valor del pH generalmente es de 6,5 a 8,5 para los distintos métodos de tratamiento y para la presencia de la mayor parte de existencia biológica [10].

#### **2.1.3.7. Nitrógeno**

Es un nutriente fundamental para el incremento de plantas y protistas. Los diferentes tipos de nitrógeno como el nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánico, nitrógeno de nitritos y nitratos son datos útiles para un análisis adecuado del tratamiento biológico de las aguas grises; un agua residual con ausencia de nitrógeno no cuenta con una correcto biodescomposición [4].

El Nitrógeno Amoniacal, se rige a la norma y método 4500-NH<sub>3</sub> B & C (SM), el mismo que radica en que los nitratos son disminuidos a nitritos por la acción de cadmio. Los nitritos responden en medio ácido sulfanílico creando sales de diazonio que se junta al ácido gentísico produciendo color; a esta técnica se le denomina Nessler [11].

#### **2.1.3.8. Fósforo**

Es un nutriente fundamental para el incremento de bacterias y algas. Algunas algas sustituyen la falta de nitrógeno en el agua debido a que están dentro del método de estratificación. El fósforo en las aguas residuales domésticas alcanza a estar en condiciones de 4 a 15 mg/L de manera que la liberación de estas aguas provoca la eutroficación de lagunas si no se revuelve anticipadamente [4].

El fósforo reactivo, cumple con la norma y método 4500-P- E (SM), el cual, por medio de la técnica de Espectrofotometría, se basa en medir la cantidad de energía que absorbe las sustancias o microorganismos [12].

#### **2.1.3.9. Conductividad**

Según Velasco, J [13], es la capacidad de transportar la corriente eléctrica de una solución. Este atributo necesita de la existencia de iones, su total movimiento, concentración, valencia y temperatura de medición. El rango adecuado de conductividad dentro de las aguas residuales es de 500 a 1.500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

#### **2.1.3.10. Temperatura**

La mayoría de los métodos biológicos están en función de la temperatura, por lo que es un parámetro indispensable para tratar las aguas contaminadas. La temperatura óptima de las aguas residuales se encuentra entre 10°C a 25°C, siendo mayor a la temperatura de abastecimiento de agua, como efecto de la integración de agua caliente que se genera en los usos domésticos e industriales [3].

#### 2.1.4. Tratamiento de Aguas Residuales

El propósito principal de un tratamiento de aguas contaminadas es la eliminación de residuos y contaminantes químicos, la reducción de la DBO y metales pesados. Es importante conocer las condiciones del vertido para iniciar un tratamiento, con el fin de cuidar el estado ecológico de los medios receptores, generar efluentes adecuados para reutilizar e impedir transmisión de enfermedades [14].

Para restar la contaminación química, física, radioactiva y bioquímica de los cuerpos receptores de agua se realiza el tratamiento de las aguas residuales. Generalmente el tratamiento impide: perjuicios a los abastecimientos de agua estatales y particulares, daño a las aguas de uso recreativo, daño a la agricultura e impacto al medio ecológico [15].

La aplicación de los tratamientos de aguas residuales es diferente, y la selección de una u otra depende de una variedad de factores técnicos, ambientales y socioeconómicos. El objetivo de estos tratamientos es de depurar las aguas residuales, y su propósito específico está relacionado con el saneamiento y la protección del medio ambiente [10].

#### 2.1.5. Tipos de Tratamiento de Aguas Residuales

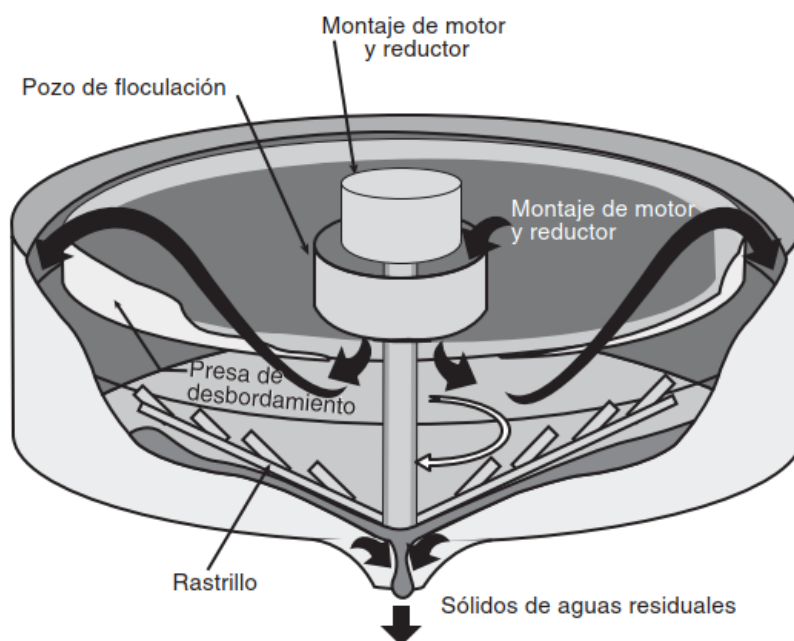
##### Tratamiento Preliminar

Se encarga de preparar o acondicionar a las aguas contaminadas con el fin de cuidar el manejo de los labores de tratamiento y disminuir las condiciones desfavorables presentes en las plantas de tratamiento [16]. Define también, al tratamiento preliminar como la fase de reducción de los componentes de las aguas residuales cuya presencia afecte al mantenimiento de las distintas operaciones y procesos [17].

- REJAS: Se aplica para mover el material flotante grueso contenido en la mayoría de aguas residuales crudas con el fin de evitar la obstrucción de tuberías, bombas y equipos de operación de los proceso de tratamiento [15].
- DESARENADOR: Empleado para remover materiales inorgánicos contenido en las aguas residuales de comunidades que causan deterioro en los equipos mecánicos de una planta de tratamiento. El desarenador se encuentra comúnmente luego del cribado [15].

## Tratamiento Primario

Su principal objetivo es remover los sólidos suspendidos ya sea por floración o sedimentación. El método de sedimentación es el que mejor se acopla a las condiciones de las aguas grises presentes en comunidades rurales de poblaciones pequeñas [17].



*Ilustración 2: Sección Transversal de un tanque de sedimentación circular para tratamientos primarios [13].*

Este tipo de tratamiento se restringe a la parte en suspensión y no a la diluida, incluso cuando este merma el material orgánico presente en las aguas residuales es por eso que se denomina tratamiento primario. Estos aspectos son diseñados con el propósito de disminuir en las aguas residuales la cantidad de grasas, aceites y sólidos suspendidos [17].

En el proceso de sedimentación las unidades de tratamiento son:

- Tanques Sépticos: Es un depósito de escurrimiento continuo e impermeable de forma cilíndrica o rectangular, recibe excretas proveniente de inodoros y aguas domésticas contaminadas. Por lo general, su construcción es de ladrillo, hormigón, piedra o cualquier material resistente a la corrosión y debe ser construido en la parte subterránea [17].
- Tanques Imhoff: Es un sistema de sedimentación de 2 niveles, se usa como cámara de digestión y estanque de sedimentación. El material sedimentado se aparta para que pueda transportarse hacia la región de digestión directamente. Para evitar que el gas suba y varíe la fase de sedimentación el conector de retención se ubica en la superficie de translación [17].

### Tratamiento Secundario

Son sistemas usados para tratamientos biológicos en donde se aprovecha los microorganismos que contienen las aguas residuales, los cuales convierten la materia orgánica en materia inerte. El oxígeno disuelto en el agua residual, clasifica según la actividad biológica en 2 grupos: Anaerobios que carecen de oxígeno y los Aerobios con presencia de oxígeno [17].

### Tratamiento Aerobio

Es un proceso donde los agentes más significativos para tratar las aguas grises son las bacterias, ya que son óptimos oxidadores de material orgánico y actúan con eficiencia en las aguas grises, formando una capa floculante en forma de gelatina de buenas condiciones para eliminar la cantidad de materia orgánica [3].

### Tratamiento Anaerobio

Es un método de transformación del material orgánico en una mezcla de gases de metano y CO<sub>2</sub> debido a la ausencia de oxígeno, esta fase o proceso generalmente se efectúa en tanques cerrados conocidos como reactores, resultando ser tratamientos económicos y con beneficios ambientales como efecto de la producción de energía [10].

Existen tipos de digestores anaeróbicos, los más usados son los de baja y alta carga. En los procesos de baja carga, los materiales en el tanque de digestión generalmente no se calientan ni mezclan, y el tiempo de retención es de 30 a 60 días. Mientras el proceso de digestión de alta

carga, los materiales se calientan y se mezclan completamente y su tiempo de detección es de 15 días aproximadamente [3].

## 2.2. NORMATIVA

Una vez aprovechada el agua de suministro se vuelve portador de desechos que conlleva sustancias suspendidas, disueltas y que restringen su uso, a menos que cuenten con un tratamiento previo. Al poseer las aguas residuales sustancias toxicas en abundancia para ser descargadas a su vertido, estas deben ser legalizadas por normativas ambientales [1].

El objetivo 4 del Plan Nacional del Buen Vivir 2017-2021 dice:

Para que una comunidad mejore la aptitud de vida se debe controlar, mitigar y revertir la contaminación ambiental, implementando criterios y normas para combatir a los agentes que afectan los cuerpos de agua, con el fin de promover un ambiente sustentable y certificar los derechos del medio ambiente [18].

Este proyecto obedece a las siguientes normas para el tratamiento de aguas residuales: Ministerio del Medio Ambiente [19], SENPLADES [18], INEN [8], NTE INEN 2169 [32], NTE INEN 2176 [33] y CPE INEN 5 [44]. Considerando para los diseños de los sistemas de tratamiento y aguas residuales la tabla 9 “Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce” del Ministerio del Medio Ambiente [19], que indica los valores máximos permisibles para cada parámetro de diseño.

## 2.3. SISTEMA DE BIODIGESTOR

El biodigestor es un estanque cerrado herméticamente que puede ser edificado por diversas formas geométricas y de diferentes materiales donde los residuos orgánicos son depositados, el cual experimenta un proceso de digestión bajo condiciones anaeróbicas. También, es el principal componente de una planta de biogás debido a que se obtiene tal biocombustible y da su posterior aprovechamiento energético [22].

Según Salamanca, J [23] para comunidades rurales, el biodigestor es un sistema viable y fácil de implementar, puesto que tiene un mejor manejo de los residuos animales y vegetales, siendo también un resultado ambiental óptimo debido al consumo energético. Para disminuir la

contaminación ambiental, transforma las excretas en residuos servibles ya que mata a los microorganismos y parásitos evitando que se expandan.

### 2.3.1. Uso del Biodigestor

Si el biodigestor es de uso Sanitario, conlleva un adecuado tratamiento de las aguas residuales. No obstante, en otros lugares se usa procesos y sistemas aerobios que protegen sus aguas con lodos activos, filtros percolados y lagunas aireadas, siendo sistemas de algo costo ya que necesitan de bastante energía para generar aire, y de grandes espacios para implementar lagunas de tratamiento. Es por eso, que una alternativa apta para el medio ambiente y de bajo costo es un biodigestor bajo criterios anaeróbicos [14].

La biomasa o sustrato es toda material orgánico que procede de desechos de animales, plantas, florestas y todos los residuos orgánicos que se puede transformar en energía. Por lo tanto, el biogás se genera por medio de la degradación anaeróbica de la biomasa [23].

La digestión anaerobia minimiza el contagio de enfermedades ya que al tratar los desechos humanos y demás materia orgánica se puede disminuir hasta un 95% de patógenos que genera problemas de salud a la población [24].

Los criterios para el diseño de un biodigestor son los siguientes:

#### Factores Humanos

- Recursos disponibles, mano de obra, materiales y área disponible.
- Disponibilidad desechos domésticos e industriales.

#### Factores Biológicos

- Plagas y enfermedades humanas y agrícolas.

#### Factores Físicos

- Lugar, si es zona rural o urbana.
- Aspectos climáticos, temperaturas mínimas y máximas, precipitación y humedad ambiental.
- Vías de acceso.
- Condiciones del suelo y topografía.

#### Factores Utilitarios

- Función principal, motivo de construcción.
- Si el uso es de tipo sanitario o integral.
- Operación de la instalación considerando el pre tratamiento, la carga y control de PH, obstrucción de líquidos, sólidos y gases.

## FACTORES DE CONTROL EN EL BIODIGESTOR

Para un funcionamiento adecuado de este sistema, se describen a continuación los parámetros ambientales a considerarse en el diseño de un biodigestor [14].

**Temperatura:** Es el más significativo ya que es una variable que controla la velocidad en el incremento de bacterias. Al poseer altas temperaturas se crea mayor cantidad de gas, por lo que se sugiere cimentar el biodigestor en el suelo por su capacidad de aislamiento [14].

**pH:** 6.5 a 7.5 es un rango de pH neutro apropiado para que el reactor actúe eficientemente. Si el pH es ácido, las bacterias metanogénicas no pueden proceder adecuadamente, entonces agranda la proporción de gas carbónico y reduce la cantidad bacteriana [14].

**Tiempo de Retención Hidráulico:** Es el tiempo que permanece la materia orgánica y los sólidos dentro del reactor. Los parámetros importantes en el tiempo de retención es la temperatura y la tipología del sustrato que ingresa al biodigestor, puesto que los tiempos logran ser bajos o altos según se degraden los residuos. Para un adecuado tratamiento convencional los valores varían de 15 y 40 días dependiendo del factor de seguridad [24].

### 2.3.2. Tipos de Biodigestor

- **Modelo Chino:** Es el modelo de biodigestor más popular, consta de una base enterrada y una cúpula fija de hormigón. Cuando inicia a crear biogás este se traslada a la cúpula moviendo el bioabono a un tanque. Dura mínimo 20 años [25].

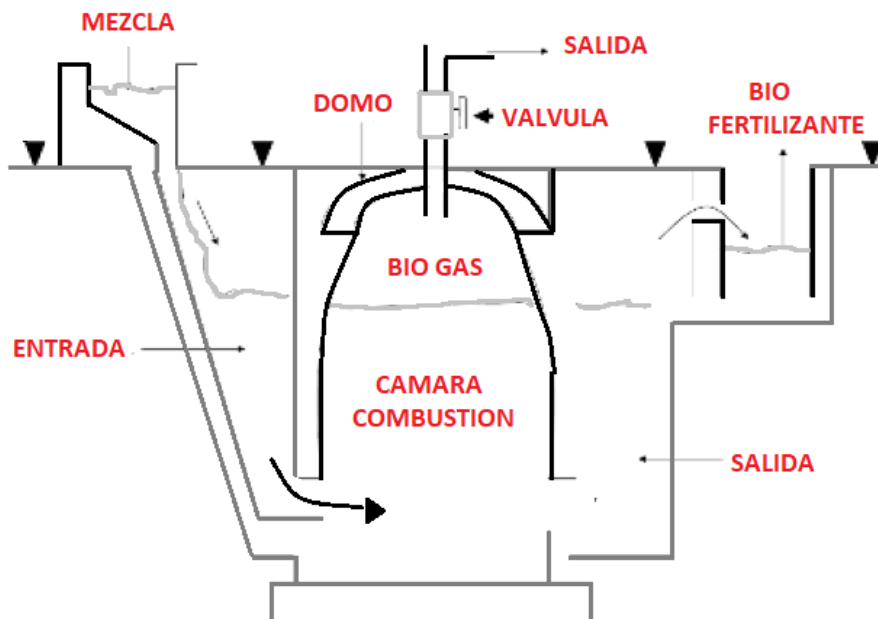


Ilustración 3: Biodigestor Diseño Chino [14].

- Modelo hindú: Tiene forma cilíndrica hecha de hormigón, en la parte superior hay una cúpula de acero o plástico flotante que se desplaza en forma vertical. Tiene una vida útil de aproximadamente 15 años y su operación es fácil [25].

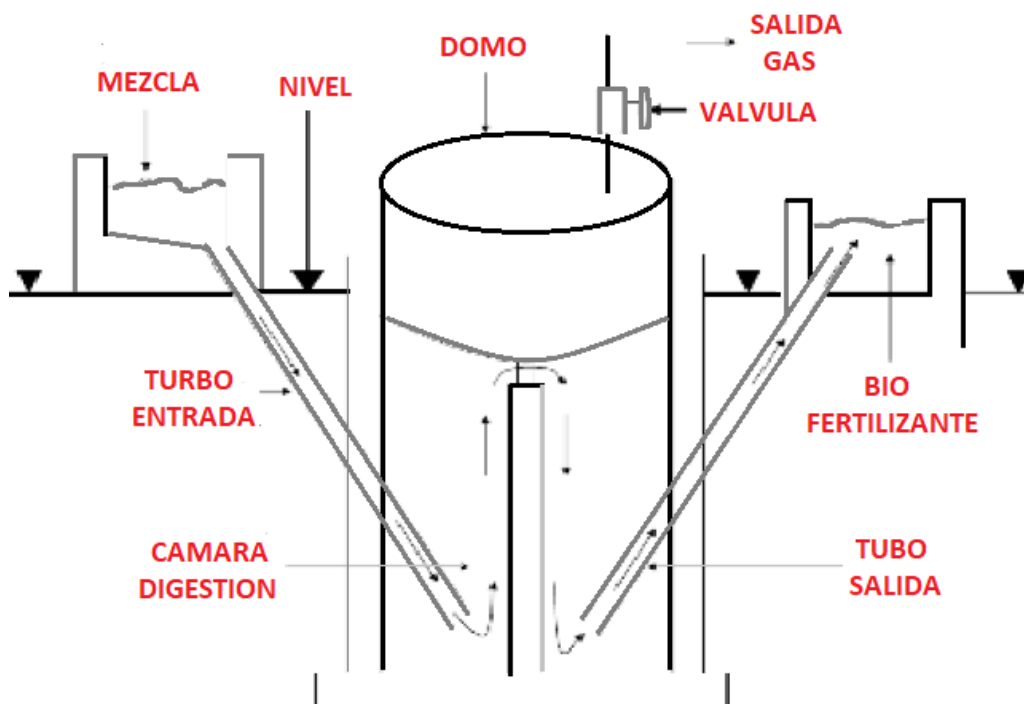
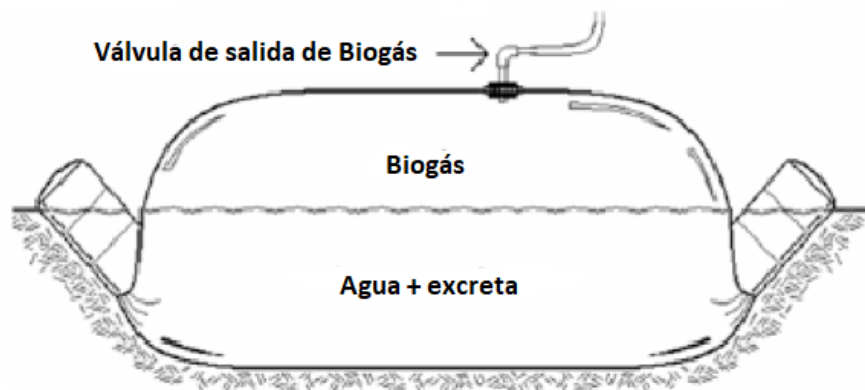


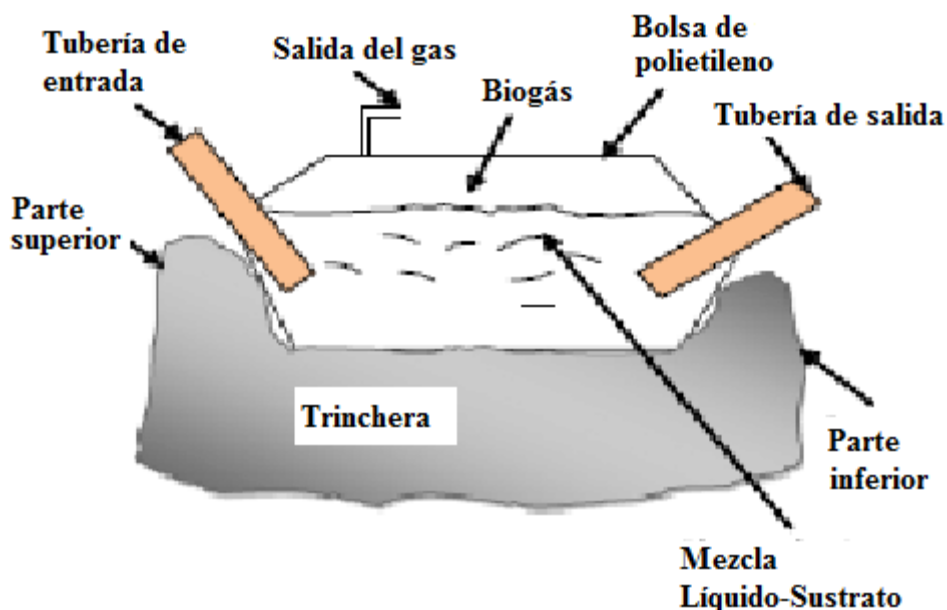
Ilustración 4: Biodigestor Diseño Hindú [14].

- **Modelo Tubular:** Es de material sintético como geomembrana de forma horizontal y semienterrado. La unión de agua con estiércol ingresa por un lado del biodigestor transportándose de forma horizontal hasta la salida del bioabono, el gas va verticalmente hacia arriba para almacenarse y estar lista para su consumo. Tiene una duración de 5 años si es de plástico y 10 años de geomembrana [25].



*Ilustración 5: Biodigestor Modelo Tubular [25].*

- **Modelo Media Bolsa:** Es similar al modelo Tubular, la única diferencia radica en la estructura, ya que consta de un tanque de concreto tapado por un saco de plástico [25].



*Ilustración 6: Biodigestor Modelo Media Bolsa [25].*

## Partes de un Biodigestor:

Un biodigestor consta de una pila de carga en donde entra el alimento del tanque digestor, el tanque hermético que posee ingreso y descarga de residuos, tapa para recubrir el tanque, tuberías, válvula y llave de paso [26].



*Ilustración 7: Partes de un Biodigestor [27].*

## 2.4. SISTEMA DE HUMEDAL

Son sistemas para tratar las aguas contaminadas, el cual consta en implementar un cultivo de plantas acuáticas enraizadas sobre un lecho filtrante. Las macrófitas generan un rango de confusas relaciones químicas, físicas y biológicas, en donde se depura lenta y progresivamente el agua residual del afluente [28].

Se han utilizado los humedales para controlar las diferentes aguas residuales como las aguas urbanas, domésticas e industriales, aguas de escorrentía, aguas de drenaje y tratamiento de lodos de depuradoras con tecnologías convenidas, por medio de la degradación superficial presente en los humedales en donde se mineralizan y deshidratan [29].



*Ilustración 8: Modelo General de un Humedal [30].*

#### 2.4.1. Uso del Humedal

Los aspectos de interés sobre el sistema de humedal son:

- Satisfacen un tratamiento eficaz, excluyendo de las aguas residuales los microorganismos patógenos, materia orgánica, metales pesados, nutrientes y demás contaminantes.
- Son bajos los costos de mantenimiento y operación en comparación con otros sistemas convencionales.
- Proporcionan el tratamiento secundario generando agua reutilizable en la mayoría de los casos.
- La aportación de oxígeno es rápida, no forma fangos y resisten bien las fluctuaciones de las cargas de contaminación.

#### 2.4.2. Tipos de Humedal

- Humedales de flujo superficial

Son lagunas excavadas, donde está expuesta el agua a la atmosfera y atraviesa plantas acuáticas. En este tipo de humedal la profundidad máxima de lámina de agua es de 1.0m, la

velocidad inferior del flujo y el contenido de los talluelos de la planta y basura, normalizan el flujo del agua. Este método sucede cuando el agua pasa lentamente por el tallo y la raíz de la plantación emergente [30].



*Ilustración 9: Humedal Superficial [30].*

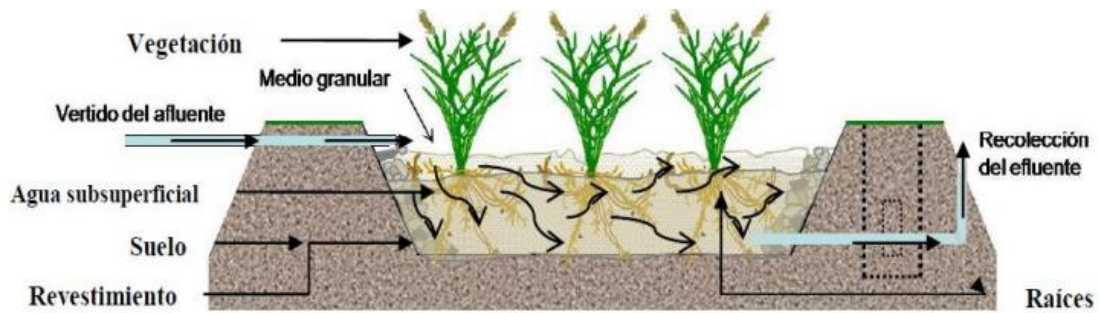
- Humedales de flujo subsuperficial

Son identificados por que la circulación horizontal o vertical del agua fluye mediante un lecho granular de 0.6m de profundidad de agua y de flujo subterráneo. Al implementarse la vegetación en el medio granular, tiene contacto el agua con los rizomas de las plantas y las raíces [28]. Los humedales de flujo subsuperficial se clasifican en:

- ✓ Humedales de flujo subsuperficial horizontal

El agua fluye horizontalmente en el medio granular y plantas enraizadas con una profundidad de agua aproximada de 0.3 a 0.9m. Generalmente, permanecen inundados en la parte inferior de la superficie y poseen cargas aproximadas de 6g DBO/m<sup>2</sup>\*día [31].

Están compuestos los humedales horizontales por: estructuras de ingreso del fluido, medio granular, plantas emergentes en zonas húmedas, impermeabilización con láminas sintéticas y estructuras de descarga controladas por el nivel del agua [32].

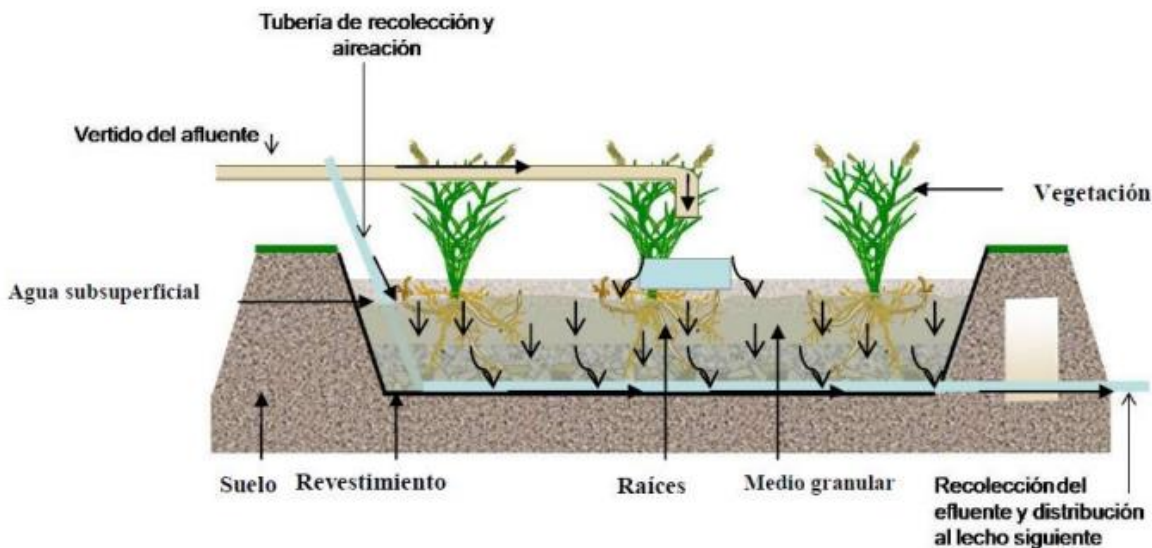


*Ilustración 10: Humedal de flujo horizontal subsuperficial [32].*

✓ Humedales de flujo subsuperficial vertical.

El agua fluye verticalmente y da lugar a pulsos, de modo que el medio granular con profundidad aproximada de 0.5 a 0.8m no se encuentra inundado de forma estable. Trabajan con cargas aproximadas de 20g DBO/m<sup>2</sup>\*día [32].

Estos sistemas son más eficaces que los tratamientos con humedales horizontales ya que necesitan áreas pequeñas para tratar las cargas orgánicas. Por otro lado, este sistema está expuesto a la colmatación. Están constituidos de manera similar que los humedales horizontales [32].



*Ilustración 11: Humedal subsuperficial de flujo vertical [32]*

## 2.5. MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES

Tipos de muestra: Son importantes para saber la calidad del agua, todos los datos analíticos que se obtiene mediante la resolución de parámetros como: concentraciones de material inorgánico, minerales y gases disueltos, materia orgánica y en suspensión en el agua o en el sedimento [33].

- Algunas variables deben medirse “in situ” como las concentraciones de gases disueltos, para resultados precisos.
- Se sugiere separar las muestras para estudios químicos y microbiológicos, ya que los métodos y el equipo para la cogida y manejo de las muestras es diferente.
- Generalmente las aguas residuales tienen riesgo de sufrir cambios de distinto grado debido a las reacciones químicas, físicas o biológicas, las mismas que tienen lugar desde que se realiza el muestro para su análisis. Es por ello, que se debe tomar precauciones durante el transporte y el tiempo de conservación de las muestras [8].

Los Recipientes:

- Es fundamental saber seleccionar y tener listo los recipientes.
- El recipiente no debe: ser motivo de contaminación por lixiviados, absorber los constituyentes a ser determinados, reaccionar con ciertos constituyentes de la muestra, tener una superficie a la cual no se pueda limpiar y dar un tratamiento [21].
- Resistentes a la rotura y a temperaturas extremas, facilidad de apertura y sellado, disponibilidad, peso, forma, tamaño, potencia de reusó, limpieza y costo [21].

## CAPITULO 3: METODOLOGÍA

### 3.1. Levantamiento de Información de la Zona de Estudio

#### 3.1.1. Topografía

Las condiciones del área de estudio se definieron mediante un levantamiento topográfico con estación total y dron, en donde se analizará las características y pendientes del área del proyecto.



*Ilustración 12: Levantamiento topográfico de la zona de estudio.*

#### 3.1.2. Tipo de Suelo.

El tipo de suelo de la comunidad Huizhil es franco arcilloso (FAR), estos suelos son moldeables, pegajosos; que al determinar la textura al tacto mancha los dedos, forma bolas que son muy resistentes al manipularse y cintas que son fácil de romper [34].

El suelo es apto para que habitantes de la zona practiquen la agricultura y ganadería a escala pequeña, las condiciones topográficas de los terrenos son excelentes para el aporte de agua de cultivos que están en el pie de la montaña y en las laderas principalmente[35].

### 3.1.3. Tipo de Clima

El clima que presenta Huizhil es el ecuatorial mesotérmico semihúmedo, presenta una máxima temperatura anual de 19°C y una mínima de 9°C. Anualmente la comunidad Huizhil tiene una precipitación máxima de 210mm para el mes de marzo y para el mes de julio aproximadamente una precipitación mínima de 90mm [35].

### 3.1.4. Población de Diseño

En la Parroquia Baños, 65 casas de la comunidad de Huizhil desembocan sus aguas servidas a la quebrada Huizhil por medio de tuberías, mediante un conteo de habitantes por domicilio se determina una población de 325 personas. Según la INEN [31], el indicador de la evolución de la población para la región Sierra es de 1%.

En cualquier obra civil de disposición de residuos líquidos o sistemas de agua potable, se estima un tiempo de vida útil de 20 años, por lo tanto, la población de diseño se calcula en función del número de habitantes actual por medio del método geométrico [31]. Se aplica este método, ya que, según varias investigaciones presenta márgenes de errores mínimos y es el más recomendable.

$$Pf = Pa * (1 + r)^n \text{ Ecuación 1 [33]}$$

Donde Pf es la Población Futura en habitantes, Pa la Población existente en habitantes, r la Tasa de crecimiento geométrico de la comunidad y n el período de diseño en años.

### 3.1.5. Caudal

La dotación para la comunidad de Huizhil es de 60 l/hab\*día debido a que la zona de estudio pertenece a un nivel de servicio Ila, el cual es una red de abastecimiento de agua potable y eliminación de excretas como indica la tabla 5.3 de SENAGUA [20]. Además, el porcentaje de aguas residuales es del 70%-80%.

Caudal Medio de Aguas Residuales:

Este caudal se calcula en base a la población de estudio y la dotación de agua, afectado por el porcentaje de las aguas residuales, como muestra la siguiente fórmula:

$$Q_m = \frac{D * \% Ar * Pf}{86400} \text{ Ecuación 2 [33].}$$

Donde D es la Dotación en l/hab/día, Ar es el porcentaje de las aguas residuales y Pf la población futura en habitantes.

### Caudal in Situ

Se determina usando el método volumétrico como aplica la INEN [32], el cual consiste en colocar un balde de volumen conocido bajo la corriente, de forma que recoja el fluido, y al mismo tiempo contabilizar el tiempo de llenado del balde. Se aplica este método por 12 horas diarias durante 5 días consecutivos, con un recipiente como indica la ilustración 13, de volumen 3.78541 litros. Es recomendable tomar varios tiempos para considerar un valor promedio.



*Ilustración 13: Método volumétrico para el cálculo del Caudal.*

Por otro lado, para la validación de los datos de caudales obtenidos se aplicó la prueba Q de Dixon: detección de un valor sospechoso, el cual consiste en rechazar valores que no pertenezcan a un mismo rango utilizando fórmulas estadísticas para la localización de valores extremos [36].

Según Rorabacher, D.B [36], la prueba Q de Dixon se inicia ordenando los valores de manera ascendente, luego se aplica las fórmulas según el número de datos obtenidos y por último se emplea el criterio para rechazar el dato discordante que es el Q calculado sea mayor al Q crítico con un intervalo de confianza del 95%, este proceso se encuentra en las tablas del anexo 2. Se

aplica la ecuación de X1 sospechoso de acuerdo con la relación a calcular en función del número de datos como se incida en la tabla 1.

$$Q_{calc} > Q_{crit} \text{ Ecuación 3 [36].}$$

Tabla 1: Relación a calcular en base al número de datos [36]

Cantidad de datos	Relación a calcular	Si x1 es dudoso (Qcalc)
n= 3 a 7	r10	$\frac{X2 - X1}{Xn - X1}$
n= 8 a 10	r11	$\frac{X2 - X1}{X(n - 1) - X1}$
n= 11 a 13	r21	$\frac{X3 - X1}{X(n - 1) - X1}$
n= 14 a 24	r22	$\frac{X3 - X1}{X(n - 2) - X1}$

### 3.2 Calidad del Agua Residual

En la quebrada Huizhil la calidad del agua presenta un alto nivel de contaminación, ya que las aguas grises que son expulsadas a las casas a través de las tuberías muestran heces fecales, restos alimenticios, aceites y grasas, e incluso animales roedores, como indica la ilustración 14.



Ilustración 14: Roedores, heces fecales, aceites y grasas en las aguas residuales de la quebrada Huizhil.

### 3.2.1. Ensayos del Agua Residual en laboratorio

Las muestras de agua tomadas se realizaron por 5 días continuos a partir de las 7:00am hasta las 18:00pm, es decir, se tomó muestras de agua cada hora por 12 horas consecutivas. Las muestras se tomaron en frascos ámbar de 1 litro, las cuales se transportaron en cooler de refrigeración para mantener las condiciones de las muestras hasta el Centro de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología (CIITT), en donde se analizó los parámetros: DBO5, DQO, Nitrógeno Amoniacal, Fósforos Reactivos y Sólidos Suspendedos.

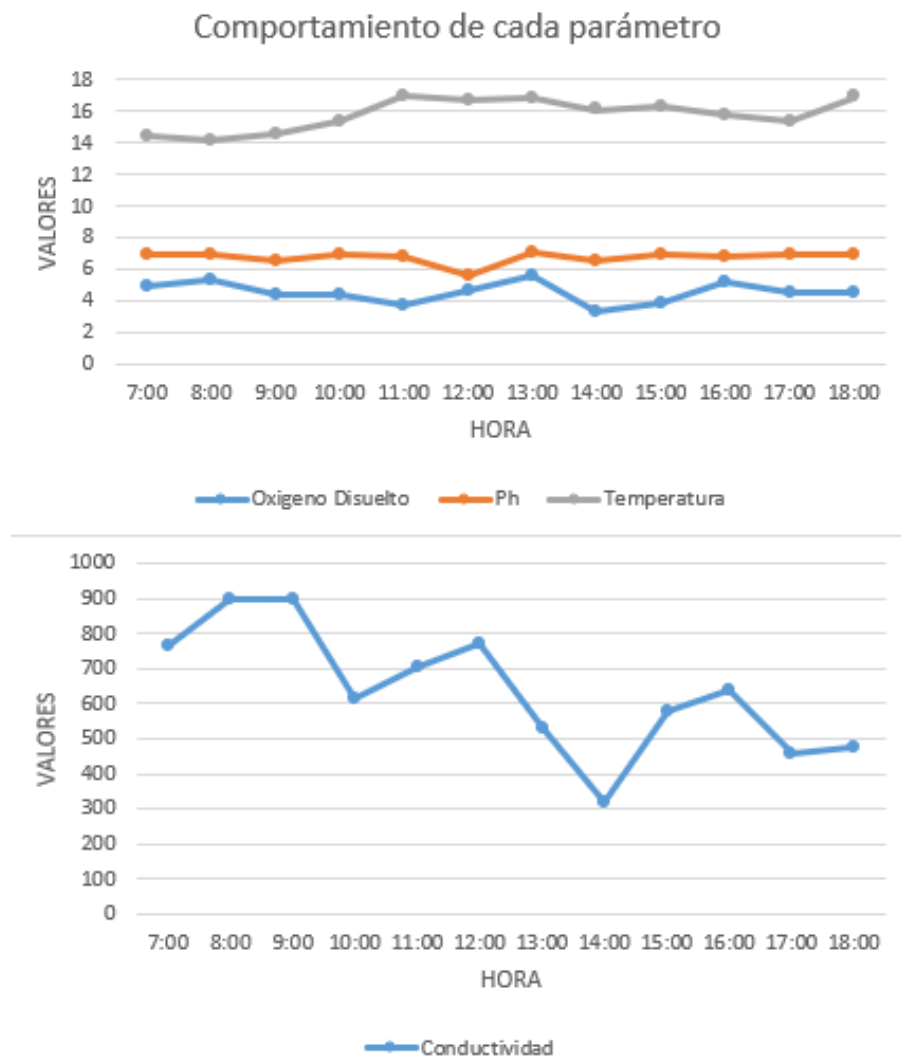


*Ilustración 15: Toma de muestras y análisis de agua de la quebrada Huizhil.*

### 3.2.2. Ensayos de Agua Residual in situ

Los parámetros ensayados in situ son: Conductividad. pH, Temperatura y Oxígeno Disuelto. Los cuales se analizan con ayuda del equipo multiparamétrico de calidad de agua durante 5 días, cada hora por 12 horas consecutivas [37]. Se puede apreciar en la gráfica 1 el comportamiento de los parámetros tomados cada hora.

Después de cada muestra horaria, es importante limpiar las sondas con agua destilada y papel, para que en las siguientes tomas de muestra no sufran alteración.



*Gráfica 1: Comportamiento de los parámetros obtenidos en campo.*



*Ilustración 16: Análisis de agua in situ con equipo multiparamétrico.*

### 3.3. Propuesta de Uso de Sistemas de tratamiento de Biodigestor y Humedal

#### 3.3.2. Diseño del Biodigestor

El diseño de un biodigestor debe dar respuesta al objetivo de su tecnología y al grado de aplicación. Para seleccionar el sistema de digestión más apropiado y que cumpla con las necesidades de tratamiento se debe conocer la localidad, la región, la zona donde se va a ubicar y en función al material de carga disponible que se va a dar tratamiento [38].

El diseño abarca actividades que van desde la etapa preliminar hasta el cálculo de materiales y gráfica. Se inicia con la recolección de Información de la zona de estudio (demografía y catastro, clima), se precisa el objetivo, el régimen de operación y selección de digestor más factible de realizar en la zona de estudio, se considera las especificaciones para el diseño de biodigestores como las alternativas de la materia prima, demanda y tipo, filtros anaerobios para el medio rural, volumen de carga y descarga, requerimiento de materiales de construcción, cálculos métricos de instalaciones y representación gráfica con dimensiones del modelo con ayuda de planos [38].

#### Tiempo de Retención Hidráulica

Para cálculos hidrosanitarios en las zonas rurales el TRH está en base a la temperatura del área de influencia. En el caso de la zona de Huizhil posee una temperatura dentro del rango de 16-19°C, por lo tanto, se trabaja con un tiempo de 10-14 horas. [39]

*Tabla 2: Tiempo de Retención Hidráulica [39]*

TEMPERATURA (°C)	TRH (horas)
16-19	10-14
22-26	7-9
>26	>6

#### Volumen Total del Biodigestor

El volumen total del digestor abarca una parte gaseosa y otra líquida, en donde habitualmente a la fase líquida le corresponde un 75% del volumen total y el sobrante a la fase gaseosa [40].

$$Vt = Vl + Vg \text{ Ecuación 4 [40].}$$

Donde  $Vt$  es el volumen total,  $Vl$  es el volumen líquido y  $Vg$  es el volumen gaseoso, todos expresado en litros.

### Volumen Líquido

La carga diaria de entrada debe ser colocada en la parte inferior del biodigestor, para que pueda ser dirigida por los microorganismos tanto tiempo como el tiempo de retención considerado. El volumen del líquido es el producto del tiempo de retención y la carga diaria para que el biodigestor sea de flujo continuo [40].

$$Cd = QuAN * P \text{ Ecuación 5 [40]}$$

Donde  $Cd$  es la Carga de mezcla diaria,  $QuAN$  es el Caudal Unitario de Aguas Residuales que, según la norma, en zonas rurales es de aproximadamente 12l/hab/día y  $P$  es la población de diseño en habitantes.

$$Vl = Cd * Tr \text{ Ecuación 6 [40]}$$

Donde  $Vl$  es el volumen líquido en litros,  $Cd$  es la carga diaria en l/día y  $Tr$  es el tiempo de retención hidráulica en días.

### Volumen Gaseoso

Con el fin de estar en situación anaerobia, dentro del biodigestor se va a originar biogás, y se reunirá en la parte superior, formándose una campana almacenadora de gas. El volumen gaseoso equivale al 25% del volumen líquido. [40]

$$Vg = \frac{Vl}{3} \text{ Ecuación 7 [40]}$$

Existen biodigestores con diferentes capacidades, en donde se considera un biodigestor con volumen requerido y apto para tratar las aguas residuales de la quebrada Huizhil. [27]. La siguiente tabla indica diversas dimensiones de biodigestores.

*Tabla 3: Dimensiones de Biodigestores según su capacidad [27]*

<b>DIMENSIONES DE BIODIGESTOR (ROTOPLAS)</b>															
<b>Capacidad (litros)</b>	<b>A (m)</b>	<b>B (m)</b>	<b>C (m)</b>	<b>D (m)</b>	<b>E (m)</b>	<b>F (m)</b>	<b>G (m)</b>	<b>H (m)</b>	<b>I (in)</b>	<b>J (in)</b>	<b>K (in)</b>	<b>L</b>	<b>M (m)</b>	<b>N (m)</b>	<b>PESO (Kg)</b>
<b>600</b>	0.85	1.64	1.07	0.95	0.32	0.24	0.55	0.03	4	2	2	45°	0.66	0.35	22.5
<b>1300</b>	1.15	1.96	1.25	1.15	0.45	0.24	0.55	0.03	4	2	2	45°	0.89	0.318	39
<b>3000</b>	1.45	2.67	1.75	1.54	0.72	0.24	0.55	-	4	2	2	45°	0.89	0.318	143
<b>7000</b>	2.36	2.65	1.36	1.25	1.10	0.26	0.55	0.08	4	2	2	45°	0.89	0.318	185

### 3.3.3. Diseño del Humedal

Para conseguir excelentes rendimientos en la eficacia de depuración, el diseño del humedal hidráulico es crítico. Se considera al flujo en circunstancias uniformes en los diferentes modelos de aplicación; por lo que, es fundamental elaborar un diseño con apropiados métodos [28].

Las características físicas y el dimensionamiento del humedal está en base a la ubicación de la planta, de las condiciones del agua efluente esperada, del clima de la zona de estudio, y de las restricciones de calidad de vertido de aguas, exigida por normas locales [41].

Para un diseño apto de humedal de flujo subsuperficial es importante considerar los rangos establecidos en la tabla 4 para cada parámetro, de igual forma la tabla 11 de Delgadillo, Camacho y Andrade [28] indica las características típicas de los medios filtrantes con sus respectivos rangos de valores del tamaño efectivo, porosidad y conductividad hidráulica de acuerdo a cada material.

*Tabla 4: Parámetros Generales para el diseño del Humedal. [42]*

<b>PARÁMETROS GENERALES PARA EL DISEÑO DEL HUMEDAL</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rango</b>
<b>TRH</b>	día	3 - 15
<b>Profundidad del humedal</b>	m	0.3 - 0.9
<b>Carga hidráulica</b>	m <sup>3</sup> / (m <sup>2</sup> x día)	0.014 - 0.046
<b>Superficie determinada</b>	Ha/ (10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /día)	7.1 - 2.15
<b>Pendiente</b>	-	<5%

Hay 2 tipos de humedales de flujo subsuperficial: Horizontal y Vertical; En este caso, se diseña el humedal de flujo subsuperficial Horizontal, el mismo que, según García y Corzo [32], hay que obedecer los siguientes pasos que darán un correcto diseño:

Caudal de Aporte de las aguas residuales

$$Q_u = D * \text{CoefAR} \text{ Ecuación 8 [32]}$$

Donde D es la dotación y CoefAR es el coeficiente de retorno de las aguas residuales.

Caudal Medio Teórico

$$Q = Q_u * P \text{ Ecuación 9 [32]}$$

Donde P es la población de diseño.

Área mínima de Humedal

$$A_s = \frac{tQ}{\gamma n} \text{ Ecuación 10 [32]}$$

Estos valores se aprecian en la tabla 5, la misma que indica los datos generales para el diseño del humedal de flujo subsuperficial.

*Tabla 5: Datos Generales para el Diseño del Humedal.*

<b>Dotación</b>	60	l/hab/día
<b>Coef. de retorno (70%-80%):</b>	0,8	
<b>Población de diseño:</b>	397	Hab.
<b>Periodo de retención hidráulico mínimo (t):</b>	3	días
<b>Pendiente del lecho (m):</b>	2%	
<b>Profundidad humedal (y):</b>	0,9	m
<b>Temperatura del agua en el humedal (T):</b>	14	°C
<b>Porosidad (n)</b>	0.365	

### Para disminuir el DBO5:

El computo del área superficial del humedal se efectúa dependiendo del factor contaminante que se va a reducir, por lo general los diseños se ejecutan para disminuir el DBO5 [32].

$$As = \frac{Q(\ln(Co) - \ln(C))}{KT * y * n} \text{ Ecuación 11 [32]}$$

$$KT = 1.101(1.06^{T-20}) \text{ Ecuación 12 [32]}$$

Donde As es el área mínima para disminución del DBO5 en m<sup>2</sup>, Q es el caudal en l/m<sup>3</sup>, C es la concentración de efluente en mg/l, Co es la concentración de afluente en mg/l, KT es la constante de reacción en función de la temperatura que aplica la ecuación 9, y es la profundidad del humedal varia de 0.3 a 1m (valor generalmente usado 0.6m), con una pendiente de 0.1 a 1% (valor usado 0.5%) y n es la porosidad del medio angular.

### Remoción de Sólidos Suspendidos:

La mayoría de los sólidos sedimentables y suspendidos son eliminados o reducidos previo a la aplicación de un tratamiento, los humedales filtran los remanentes, ajustando esta remoción. Este ítem, está en función de la velocidad del agua favoreciendo este proceso [28].

Velocidad de flujo

$$CH = \frac{Q}{As} \text{ Ecuación 13 [32]}$$

Donde CH es la velocidad de flujo en cm/día, Q es el caudal medio teórico en m<sup>3</sup>, As es el área mínima del humedal en m<sup>2</sup>.

Concentración de sólidos suspendidos en el efluente

$$Ce = SS(0.1058 + (0.0014CH)) \text{ Ecuación 14 [32]}$$

Donde  $C_e$  es la concentración de SS en el efluente en mg/l, SS son los Sólidos Suspendedos en mg/l.

### Remoción de Nitrógeno:

La remoción del nitrógeno está en base a la constante de reacción según la temperatura de la zona de estudio, aplicando formulas como indica la tabla 6.

*Tabla 6: Constante de reacción según la Temperatura [9].*

CONDICIÓN	
°C	FÓRMULA $K_T$
0°C	$K_T=0$
1 - 10 °C	$K_T= K_{10} (1.15)^{(T-20)}$
>10 °C	$K_T= K_{NH} (1.104)^{(T-20)}$

$$K_T = K_{NH} * 1.048^{T^2-20} \text{ Ecuación 15 [32]}$$

$$K_{NH} = 0.01854 + 0.3922(rz)^{2.6077} \text{ Ecuación 16 [32]}$$

Donde  $rz$  es el porcentaje de profundidad del lecho.

### Superficie necesaria para la remoción de Nitrógeno

$$A_s = \frac{Q \ln\left(\frac{N_o}{N_e}\right)}{K_T * \gamma * n} \text{ Ecuación 17 [32]}$$

Donde  $A_s$  es el área necesaria para la remoción del nitrógeno en  $m^2$ ,  $N_o$  es el valor del nitrógeno de análisis en mg/l,  $N_e$  es el valor de nitrógeno límite en mg/l y  $K_T$  es la constante de reacción.

### Tiempo de retención Hidráulica

$$TRH = \frac{A_s * \gamma * n}{Q} \text{ Ecuación 18 [32]}$$

Donde  $TRH$  es el tiempo de retención hidráulica en días,  $A_s$  es el área necesaria para la remoción de nitrógeno en  $m^2$ ,  $Q$  es el caudal medio teórico en  $m^3$ ,  $\gamma$  es la profundidad del humedal en metros y  $n$  es la porosidad.

## Concentración de Nitratos en el efluente

$$C_e = N_e * (e^{-KNH*TRH}) \text{ Ecuación 19 [32]}$$

Donde  $C_e$  es la concentración de nitratos en el efluente en mg/l,  $KNH$  es la constante de nitrificación.

### 3.3.3.1. Dimensionamiento del área de superficie para el sistema de Humedal.

Según Delgadillo, Camacho y Andrade [28], la superficie de diseño corresponde a la mayor magnitud entre las calculadas.

#### Ancho del Humedal

$$W = \frac{1}{\gamma} \left( \frac{QAs}{mKs} \right)^{0.5} \text{ Ecuación 20 [32]}$$

#### Longitud del Humedal

$$L = \frac{As}{W} \text{ Ecuación 21 [32]}$$

#### Tiempo de Retención Hidráulica

$$TRH = \frac{As * \gamma * n}{Q} \text{ Ecuación 22 [32]}$$

#### ✓ Plantación para el humedal

Al plantar vegetación monoespecíficas de carrizo, juncos y totora se da buenos resultados, se prefiere usar plantaciones de una sola especie en una misma instalación. Los cultivos que son usados para el humedal tiene varios objetivos como: aprovechar los nutrientes que genera el agua, usar el agua del humedal como medio, acoplarse a las condiciones de salinidad extremas, regular el régimen hídrico, administrar el depósito de sedimentos y regular el pH, materia orgánica y sólidos en suspensión [31].

En este diseño se usará como vegetación la Totora (*Scirpus californicus*), ya que son plantas emergentes de clima templado adecuado para la localización de estudio, tienen un gran rango de adaptación, aguantan una restricción fuerte en la presencia de oxígeno en el suelo,

soportan un rango de pH de 4 a 9 aproximadamente y la temperatura entre 14-27°C es la necesaria para su desarrollo [31].

## CAPITULO 4: RESULTADOS

Las condiciones del terreno de la zona de Huizhil presenta un relieve inclinado, con pendientes del 15 al 25%, esto se debe a que la parroquia Baños está ubicada en la Cordillera Occidental de los Andes, donde la mayoría de sus comunidades incluido Huizhil están a una altura entre los 2500 a 3000 m s.n.m. como máxima. Se puede apreciar los planos topográficos en el anexo 1.

Para la población de diseño o población futura se aplicó el procedimiento geométrico en base a la población actual y a la tasa de crecimiento, el caudal medio de aguas residuales se determinó en base a la dotación de la zona de estudio y el caudal in situ se obtuvo por medio del método volumétrico. Teniendo los siguientes resultados:

*Tabla 7: Caudales in situ, aplicando el método volumétrico*

<b>CAUDALES</b>					
<b>Fechas/Hora</b>	05/10/2020	05/10/2020	05/10/2020	05/10/2020	05/10/2020
<b>7:00</b>	0,196339	0,069546	0,053534	0,671172	0,36224
<b>8:00</b>	0,206289	0,11651	0,06839	0,985784	0,366803
<b>9:00</b>	0,185924	0,263792	0,061985	0,518549	0,306263
<b>10:00</b>	0,195426	0,181554	0,077665	0,443256	0,303075
<b>11:00</b>	0,176888	0,394725	0,190797	0,337983	0,302349
<b>12:00</b>	0,13651	0,313103	0,139118	0,496122	0,346649
<b>13:00</b>	0,450644	0,212425	0,143932	0,255082	0,390248
<b>14:00</b>	0,143495	0,217427	0,203845	0,240191	0,349853
<b>15:00</b>	0,171131	0,318369	0,158121	0,109468	0,493535
<b>16:00</b>	0,145035	0,268469	0,10754	0,130712	0,677175
<b>17:00</b>	0,43114	0,254225	0,152638	0,372947	0,309518
<b>18:00</b>	0,145369	0,247574	0,107939	0,704918	0,405725

*Tabla 8: Tabla de Resultados de los parámetros de diseño.*

<b>FACTORES DE DISEÑO</b>	<b>VALOR</b>
<b>Población Futura</b>	397 habitantes
<b>Caudal medio de aguas residuales</b>	0.22 l/s
<b>Caudal in situ</b>	0.26 l/s

Luego de un muestreo y análisis de las aguas residuales en laboratorio y en situ, como indican las fotografías 15 y 16, se pudo analizar los parámetros bajo los criterios de la normativa ecuatoriana, acatándose a diversas técnicas de análisis de agua como se muestra en el punto 3.2.1.

*Tabla 9: Resultados Análisis de Agua en laboratorio.*

<b>RESULTADOS ANALISIS DE AGUA</b>							
<b>Parámetro Analizado</b>	<b>Técnica</b>	<b>Unidad</b>	<b>MUESTRA</b>				
			<b>DIA 1</b>	<b>DIA 2</b>	<b>DIA 3</b>	<b>DIA 4</b>	<b>DIA 5</b>
DBO5	Respirometría	mg/l	280	282	230	261,00	275,00
DQO	Dicromato	mg/l	1040	1286	1820	1168	1020
Nitrógeno Amoniacal	Nessler	mg/l	31	34,4	23,4	30,4	31,0
Fosforo Reactivo	Espectrofotometría	mg/l	12,05	12,7	9,6	8,8	8,5
Solidos Totales	GRAVIMETRIA	mg/l	700	762	686	826	720

*Tabla 10: Resultados de Análisis y valor límite de los parámetros.*

<b>RESULTADOS DE ANÁLISIS</b>				
<b>PARAMETROS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>	<b>VALOR LÍMITE PARA CADA PARÁMETRO</b>	<b>REQUERIMIENTO DE DISEÑO</b>
<b>DBO5</b>	mg/l	265,6	100	DISEÑO
<b>DQO</b>	mg/l	1266,8	250	DISEÑO
<b>Sólidos Totales</b>	mg/l	738,8	100	DISEÑO
<b>Nitrógeno Total</b>	mg/l	30,04	10	DISEÑO
<b>Fósforo Total</b>	mg/l	10,33	10	DISEÑO

Para los resultados de los registros in situ, se validaron los datos aplicando la prueba de Dixon, omitiendo valores que no están dentro de los rangos, se aprecia en la tabla 11 los resultados adecuados de análisis de agua in situ. Las tablas más detalladas se encuentran en el anexo 2.

Tabla 11: Datos de análisis de agua in situ.

<b>DATOS IN SITU</b>				
<b>Muestras</b>	<b>Oxígeno Disuelto</b>	<b>pH</b>	<b>Conductividad</b>	<b>Temperatura</b>
	mg/l	pH	μs/cm	°C
<b>DIA 1</b>				
<b>1</b>	5,38	7,82	679	17,7
<b>2</b>	5,88	7,47	432	16,4
<b>3</b>	5,05	7,08	578	15,2
<b>DIA 2</b>				
<b>1</b>	4,98	7,01	768	14,4
<b>2</b>	4,42	6,54	900	14,5
<b>3</b>	4,46	7,02	615	15,4
<b>4</b>	4,54	6,92	475	16,9
<b>DIA 3</b>				
<b>1</b>	5,65	6,62	818	13,6
<b>2</b>	5,50	6,68	351	13,1
<b>DIA 4</b>				
<b>1</b>	4,03	6,52	612	13,9
<b>2</b>	4,27	6,42	730	20,3
<b>3</b>	4,20	6,64	687	16,6
<b>DIA 5</b>				
<b>1</b>	3,59	6,78	1016	14
<b>2</b>	3,31	6,58	866	16,4
<b>3</b>	3,58	6,89	741	16,2

Aplicando la teoría y la metodología del punto 3.3.2 para el diseño del Biodigestor se obtuvo un modelo de capacidad de 3000 litros del catálogo de Rotoplas. Se consiguió los valores de volumen de acuerdo con las ecuaciones 4,5,6 y 7, indicadas en la tabla 12.

Tabla 12: Resultado del diseño del Biodigestor

<b>DISEÑO DEL BIODIGESTOR</b>		
<b>PARÁMETROS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR</b>
<b>Carga Diaria</b>	l/día	4759
<b>Volumen Líquido</b>	litros	1999
<b>Volumen Gaseoso</b>	litros	666
<b>Volumen Total</b>	litros	2665

Al emplear el ítem 3.3.3 del presente documento, y aplicar las ecuaciones de la 8-22 se obtuvo los resultados que indica la tabla 13, con un sistema de humedal de área 173.8 m<sup>2</sup>, siendo un sistema óptimo para el tratamiento de las aguas residuales de la quebrada Huizhil.

*Tabla 13: Resultados del diseño de Humedal.*

<b>DISEÑO DEL HUMEDAL</b>		
<b>PARAMETROS</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>VALOR</b>
<b>Caudal de diseño</b>	l/hab/día	48
<b>Caudal medio teórico</b>	m <sup>3</sup>	19,03
<b>Área mínima de Humedal</b>	m <sup>2</sup>	173,8
<b>Remoción de DBO5</b>		
<b>KT</b>		0,778
<b>As</b>	m <sup>2</sup>	72,72
<b>TRH</b>	día	1
<b>Remoción de Sólidos Suspendedos</b>		
<b>CH</b>	cm/día	11
<b>Ce</b>	mg/l	89,49
<b>Remoción de Nitrógeno</b>		
<b>KNH</b>		0,41
<b>KT</b>		0,5
<b>As</b>	m <sup>2</sup>	128,6
<b>TRH</b>	día	2
<b>Ce</b>	mg/l	12,07
<b>Dimensionamiento del Humedal</b>		
<b>Ancho del Humedal</b>	m	7
<b>Longitud del Humedal</b>	m	25
<b>Tiempo de Retención Hidráulica</b>	Día	3

La instalación de los sistemas de Biodigestor y Humedal para el tratamiento de las aguas residuales de la quebrada Huizhil, son una alternativa viable y sostenible para la reducción de la contaminación existente en las aguas grises. En base a estudios similares se pudo analizar los costos de ejecución, según García [14] la implementación de un biodigestor autolimpiable incluida mano de obra es de \$2900 aproximadamente para una población de 215 habitantes. Arias y Brix [42], indican que el costo de un humedal horizontal de flujo subsuperficial para áreas similares al diseño de este proyecto es de 500\$.

Para implementar el biodigestor se necesita una excavación de 12m<sup>3</sup>, para lo cual se necesita una retroexcavadora que tiene un costo de alquiler de 25\$ la hora; el biodigestor autolimpiable del catálogo de Rotoplas de capacidad de 3000 litros tiene un costo de 3000\$. Para

construir el humedal se necesita excavar 175m<sup>3</sup> y compactar el terreno con compactación mecánica, la misma que tiene un costo de alquiler diario de 80\$ y mano de obra de 20\$; la plantación que está dentro del humedal tiene un precio de 50 centavos la unidad. Se puede apreciar en la tabla 14 un presupuesto aproximado para la implementación de los sistemas de tratamiento.

*Tabla 14: Presupuesto aproximado de ejecución de los sistemas de tratamiento de aguas residuales*

<b>PRESUPUESTO BIODIGESTOR Y HUMEDAL</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO (\$)</b>
<b>Excavación para Biodigestor y humedal (1-4m) con retroexcavadora</b>	m <sup>3</sup>	187	200
<b>Biodigestor Autolimpiadle Rotoplas</b>	u	1	3000
<b>Compactación Mecánica (peón y alquiler de equipo)</b>			100
<b>Implementación de Vegetación</b>	u	100	50
<b>Grava</b>	m <sup>3</sup>	7	100
<b>TOTAL</b>			3450

El presente estudio involucra la evaluación a escala real de dos sistemas de tratamiento para las aguas residuales descargadas en la quebrada Huizhil. Al trabajar conjuntamente el sistema de biodigestor y el humedal para pequeños municipios y comunidades es una excelente opción para tratar las aguas residuales ya que mantienen su capacidad de remoción de materia orgánica, disminuyendo en un alto porcentaje su contaminación.

## CAPITULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los parámetros de población futura y caudal que se adoptaron para el diseño de los sistemas de tratamiento en el área rural Huizhil, son capaces de por un largo tiempo suministrar un buen servicio a la población con confiabilidad y economía, acatándose a la norma [19]. Otros estudios como García [14], aplica una metodología de cálculo similar a este proyecto, siendo una metodología confiable para zonas rurales, dando resultados favorables para un buen diseño de tratamiento de las aguas residuales.

Previo a un estudio investigativo y de campo de las aguas residuales de la quebrada Huizhil, se determinó los sistemas de tratamiento aptos para reducir la contaminación existente en las aguas de la quebrada, estos sistemas de biodigestor y humedal son los más convenientes a utilizarse puesto que, según [43] para los municipios pequeños y comunidades rurales al integrar estos sistemas generan mejores resultados para el tratamiento de las aguas residuales, ya que mantienen su capacidad de remoción de materia orgánica sin detrimentos significativos y garantizan que sus aguas residuales tratadas se mantengan en sus ríos, reduciendo los niveles de contaminación.

Para tratar las aguas residuales de la quebrada Huizhil con una población futura de 397 habitantes se diseñó un biodigestor de capacidad de 3000 litros como indica la tabla 19 que ofrece Rotoplas garantizando una solución real para el tratamiento de sus aguas; concordando con los estudios de García [14], Lituma [44] que implementan el biodigestor autolimpiable como sistema de tratamiento de las aguas residuales ya que es un sistema higiénico que no emana olores, es económico, fácil de instalar, resistente y duradero, mantenimiento fácil, reduce riesgo de enfermedades y contribuye a conservar el ambiente.

El humedal de flujo subsuperficial determinado para el tratamiento de las aguas residuales de la quebrada Huizhil es de 7m por 25m, siendo un sistema idóneo que brindará mejores soluciones al tratamiento de las aguas debido a la alta reducción de DBO, sólidos suspendidos y patógenos. Según Romero Rojas [10], este tipo de humedal poseen menores exigencias de área y no presentan molestias de mosquitos y olores. Por otro lado, Arias y Brix [41] afirma que los humedales artificiales de flujo subsuperficial son una solución apropiada para tratar de aguas residuales, mientras usen material vegetal autóctono, se ajusten a las condiciones locales y obedezcan las normas establecidas para cada parámetro.

Tabla 15: Dimensiones del Biodigestor para el tratamiento de aguas residuales [27]

**DIMENSIONES DE BIODIGESTOR**

Capacidad (litros)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	PESO
3000	1.45	2.67	1.75	1.54	0.72	0.20	0.55	--	4"	2"	2"	45°	0.89	0.318	143
	m	m	m	m	m	m	m	--					m	m	kg.

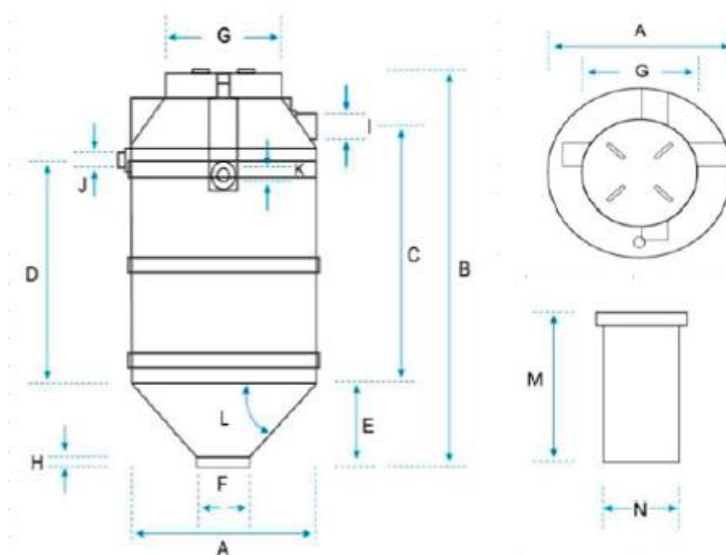


Ilustración 17: Dimensiones del Biodigestor apto para el tratamiento de las aguas residuales de la quebrada Huizhil [27]

En la tabla 16 se indica los parámetros de diseño finales para el humedal horizontal de flujo subsuperficial, obteniendo un área adecuada para implementar en este sistema; un estudio de Miranda [30], para la remoción de sólidos suspendidos y DBO5 requiere un área de 60m<sup>2</sup> para tratar aguas residuales de una población de 287 habitantes; es decir que el diseño que presenta este documento es apto para tratar las aguas residuales de la quebrada Huizhil.

Tabla 16: Superficies de Diseño Calculadas.

DISEÑO FINAL DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUB-SUPERFICIAL	
Área mínima recomendada	173,8 m <sup>2</sup>
Superficie para la remoción de DBO5 y SÓLIDOS SUSPENDIDOS	72,7 m <sup>2</sup>
Superficie para la remoción de NITRÓGENO	128,6 m <sup>2</sup>
Ancho	7m
Longitud	25m

## CAPITULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

Se pudo determinar el incremento poblacional de la zona de estudio aplicando el método geométrico, considerando un periodo de diseño de 20 años con una población actual benéfica de 397 habitantes; además, se logró obtener el caudal de la quebrada empleando el método volumétrico, siendo estos datos fundamentales para el diseño de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales.

En este estudio se obtuvo las características que existen en las aguas residuales de la quebrada Huizhil por medio de un estudio de campo y análisis en laboratorio, indicando niveles de contaminación elevados debido a valores elevados de materia orgánica, sólidos suspendidos, fosfatos, nitratos, DBO y DQO; afectando directamente a los habitantes de la zona, animales y vegetación.

Se diseñó un biodigestor con los parámetros de diseño correctos acorde a las condiciones que presenta la quebrada Huizhil; obteniendo un biodigestor autolimpiable de capacidad de 3000 litros, el cual garantiza un adecuado tratamiento para las aguas residuales.

Se calculó un humedal horizontal de flujo subsuperficial de área de 175m<sup>2</sup>, siendo apropiado para combatir las aguas residuales de la quebrada Huizhil, cumpliendo y respetando las normativas vigentes de nuestro país.

El trabajo conjunto de los sistemas de tratamiento de biodigestor y humedal garantizan que las aguas residuales de la quebrada Huizhil disminuyan su grado de contaminación y se reduzca en un gran porcentaje los malos olores que emanan. Estos sistemas es la solución más viable para el tratamiento de las aguas contaminadas de la zona de estudio ya que presentan un bajo presupuesto de construcción y mantenimiento, garantizando un bienestar social adecuado para los moradores de la zona.

## 6.2. Recomendaciones

Considerar la ejecución de este proyecto, para reducir la contaminación de las aguas residuales que presenta la quebrada Huizhil, al mismo tiempo extender este estudio a las demás quebradas de la parroquia Baños, con el objetivo de brindar un adecuado tratamiento de las aguas contaminadas.

Se recomienda cumplir las normativas vigentes para sistemas de tratamiento de aguas residuales en nuestro país para obtener buenos resultados en los diseños de tratamiento y supervisar que estos sistemas mantengan un manejo adecuado y eficiente, con sus respectivos manteamientos a ciertos periodos de tiempo.

Se sugiere que la toma de muestras para el análisis del agua sea de 2 a 3 meses consecutivos para obtener un registro de datos más amplio; también, analizar continuamente la calidad del agua para un control adecuado de los parámetros químicos, físicos y bacteriológicos.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Valencia, "Diseño de un sistema de tratamiento de las aguas residuales de la cabecera parroquial de San Luis - Provincia de Chimborazo," *Ciencias*, vol. Bachelor, p. 178, 2014.
- [2] M. L. Quispe Pérez, L. C. Piñas Rivera, J. R. Valle González, and F. A. Chávez, *Aplicaciones tecnológicas de tratamiento de aguas residuales*. México, 2020.
- [3] Metcalf and Eddy, *Ingeniería de aguas residuales. Volumen 1: Tratamiento, vertido y reutilización*. Madrid, 1995.
- [4] A. Orozco, *BIOINGENIERÍA DE AGUAS RESIDUALES Teoría y Diseño*, Acodal. Bogotá, 2005.
- [5] J. W. Gooch, "Biochemical Oxygen Demand (B.O.D.)," *Encycl. Dict. Polym.*, no. 5000, pp. 80–80, 2011, doi: 10.1007/978-1-4419-6247-8\_1310.
- [6] E. Contreras and R. Menes, "Capítulo XI.1. Técnicas de Medida de Actividad," *Trat. Biológico Águas Residuárias*, no. June, pp. 621–648, 2005.
- [7] MACHEREY-NAGEL, "Determinación fotométrica del descenso de la concentración de cromato tras oxidación con dicromato potási- co / ácido sulfúrico / sulfato de plata," p. 985022, 2008.
- [8] INEN, "NATA. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE MATERIA GRASA. METODO GRAVIMETRICO (ISO 2450:2008, IDT)," p. 8, 2014.
- [9] E. Loaiza, "Diagnostico De Contaminacion De Agua En La Quebrada Camaronera, Parque Nacional Manuel Antonio, Area De Conservacion Pacifico Central, Minaet, Costa Rica," p. 51, 2009.
- [10] J. A. Romero Rojas, *Tratamiento de Aguas Residuales Teoría y principios de diseño*, EDITORIAL. Bogotá, 2008.
- [11] B. R. and T. M. W. Fisher, Owen B. Mathre, "4500-NH3 Nitrogen (Ammonia)," *Stand. Methods Exam. Water Wastewater*, no. 4000, pp. 108–117, 2005.
- [12] EPER España, "Total fósforo ( como P )," no. M, pp. 1–3, 1996.
- [13] J. Velasco, "Manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales Ubillus," Quito, 2017.
- [14] G. Garcia, "Diseño de un biodigestor para el mejoramiento de las aguas residuales en la

parroquia de Tumbaco ejemplificando en los barrios Tola Chica, Tola Grande y Santa Rosa,” pp. 1–52, 2016.

- [15] R. Rojas, “Curso Internacional ‘GETIÓN INTEGRAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES’ 25 al 27 de setiembre de 2002,” *Sist. Trat. Aguas Residuales*, pp. 3–19, 2002.
- [16] R. Rojas, M. Luis, Q. Pérez, L. Cristina, and P. Rivera, “Curso Internacional ‘GESTIÓN INTEGRAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES’ 25 al 27 de setiembre de 2002,” *Sist. Trat. Aguas Residuales*, pp. 3–19, 2002.
- [17] R. Ayala Fanola and G. Gonzales Marquez, “Apoyo Didactico En La Enseñanza – Aprendizaje De La Asignatura De Plantas De Tratamiento De Aguas Residuales,” p. 345, 2008.
- [18] Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo - (Senplades), “Plan Nacional para el Buen Vivir 2017-2021,” *Educ. Res.*, vol. 1, p. 150, 2017.
- [19] N. T. E. CPE INEN 5, “Normas Para Estudio Y Diseño De Sistemas De Agua Potable Y Disposición De Aguas Residuales Para,” *Normas Para Estud. Y Diseño Sist. Agua Potable Y Disposición Aguas Residuales Para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes*, vol. 9, p. 291, 1992.
- [20] SENAGUA, “Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural,” *Secr. del Agua*, pp. 1–44, 2016.
- [21] NTE INEN 2176, “Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo,” 2176, vol. First Edit, pp. 1–15, 2013.
- [22] W. Arrieta-palacios, “DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DOMÉSTICO PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTIVO DEL ESTIÉRCOL DEL GANADO,” p. 231, 2016.
- [23] J. Salmanca, *Diseño, construcción y puesta en marcha de un biodigestor a escala piloto para la generacion de Biogás y Fertilizante Orgánico*. 2009.
- [24] Metcalf and Eddy, *Ingenieria de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilizacion*. Madrid, 2000.
- [25] G. M. Apolo, “Diseño y emplazamiento de un biodigestor para el aprovechamiento de biogás en la granja de explotación porcina ‘Mis Tres Marías’ Arenillas-El Oro-Ecuador,” *Univ. Politec. Sales.*, p. 76, 2019.
- [26] A. Apolo, “Diseño, construcción y puesta en maracha de un biodigestor anarobio prototipo

de bajo costo,” p. 99, 2015.

- [27] Rotoplas, “Biodigestor Rotoplas,” p. 17, 2017.
- [28] O. Delgadillo, A. Camacho, L. F. Pérez, and M. Andrade, *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*, Centro And. Bolivia, 2010.
- [29] O. Delgadillo, A. Camacho, and M. Andrade, *1. A cleaner causes a mob to undergo two displacements on a floor. If the resultant displacement has a magnitude of 120 cm and is directed at an angle of 55*. 2010.
- [30] J. R. Miranda Castañón, “Determinación de parámetros de diseño, puesta en marcha y evaluación de la eficiencia de humedales de flujo subsuperficial en la planta piloto aurora II, para el tratamiento de aguas residuales domésticas,” pp. 2–63, 2012.
- [31] A. García and W. Luizaca, “Diseño De Un Sistema De Humedales Artificiales Para El Tratamiento De Las Aguas Residuales En La Comunidad Del Tabacay, Cantón Azogues, Provincia De Cañar,” 2017.
- [32] J. García Serrano and A. Corzo Hernández, “Depuración con Humedales Construidos. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial,” *Univ. Politec. Cataluña*, p. 108, 2008.
- [33] INEN, “Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169: 2013 Agua, Calidad de agua, Muestreo Manejo y Conservación de Muestras.,” *Inst. Ecuatoriano Norm.*, p. 26, 2013.
- [34] W. Lambe and R. Whitman, *Mecánica de Suelos*. 2002.
- [35] C. Palacios and A. Vintimilla, “Lineamientos de carácter general que sirvan para la protección de zonas naturales no urbanizables que se ubiquen en los sectores rurales con tendencia a la conformación de núcleos de población (aplicación a Huizhil),” Cuenca, 2017.
- [36] D. B. Rorabacher, “Statistical Treatment for Rejection of Deviant Values: Critical Values of Dixon’s ‘Q’ Parameter and Related Subrange Ratios at the 95% Confidence Level,” *Anal. Chem.*, vol. 63, no. 2, pp. 139–146, 1991, doi: 10.1021/ac00002a010.
- [37] M. M. Bermeo Garay, *Tratamiento de aguas residuales*, no. 55. 2016.
- [38] A. Guevara Vera, *Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales*, Limusa. Lima, 1996.
- [39] H. Katherine, D. Serrano, and E. Pabon, “CALCULO HIDROSANITARIO Y PLANTA DE

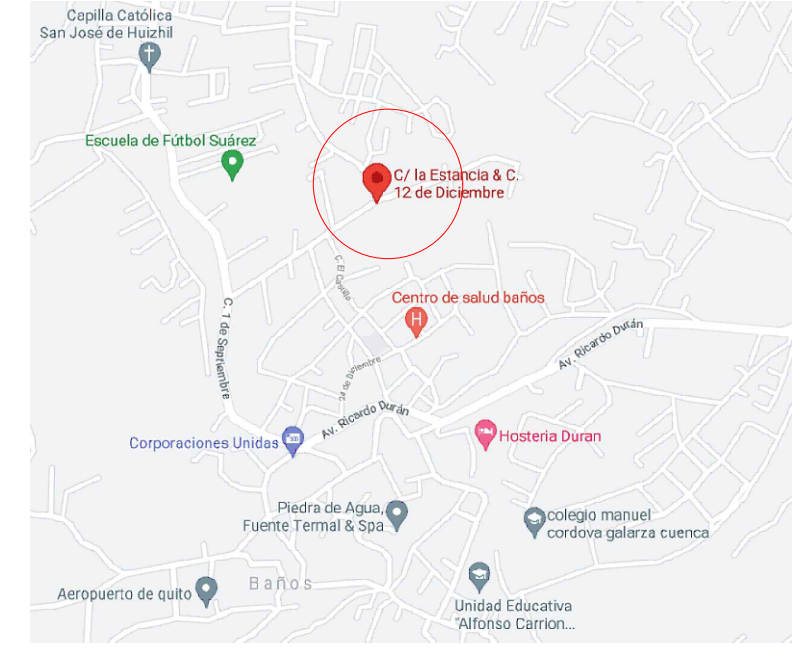
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE LA URBANIZACION VILLA HAHHA," 2016.

- [40] J. MARTI, *Biodigestores familiares. Guía de diseño y manual de instalación.*, GTZ-Energí. La Paz, 2008.
- [41] C. Arias and H. Brix, "Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales," *Cienc. e Ing. n Neogranadina*, no. 13, pp. 17-24, 2003.
- [42] Enviromental Protection Agency, "Folleto informativo de tecnología de aguas residuales Humedales de flujo subsuperficial," *United States Environ. Prot. Agency, (Us Epa).*, pp. 1-13, 2000.
- [43] C. A. Madera, J. P. Silva, and M. R. Peña, "Sistemas combinados para el tratamiento de aguas residuales basados en tanque séptico - filtro anaerobio y humedales subsuperficiales," *Ing. Y Compet.*, vol. 7, no. 2, pp. 5-10, 2011, doi: 10.25100/iyc.v7i2.2512.
- [44] P. Lituma, "Biodigestión anaerobia de lodos residuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba," p. 91, 2010.

# Anexo 1



# UBICACIÓN



## ANEXO FOTOGRÁFICO



PROYECTO:  
**PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
 DESCARGADAS EN LA QUEBRADA HUIZHIL DE LA  
 CIUDAD DE CUENCA.**

PLANO:  
**LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO**

AUTOR:  
**MARÍA DOMÉNICA ESPINOZA ESQUIVEL  
 CÉDULA DE IDENTIFICACIÓN: 0302596622**

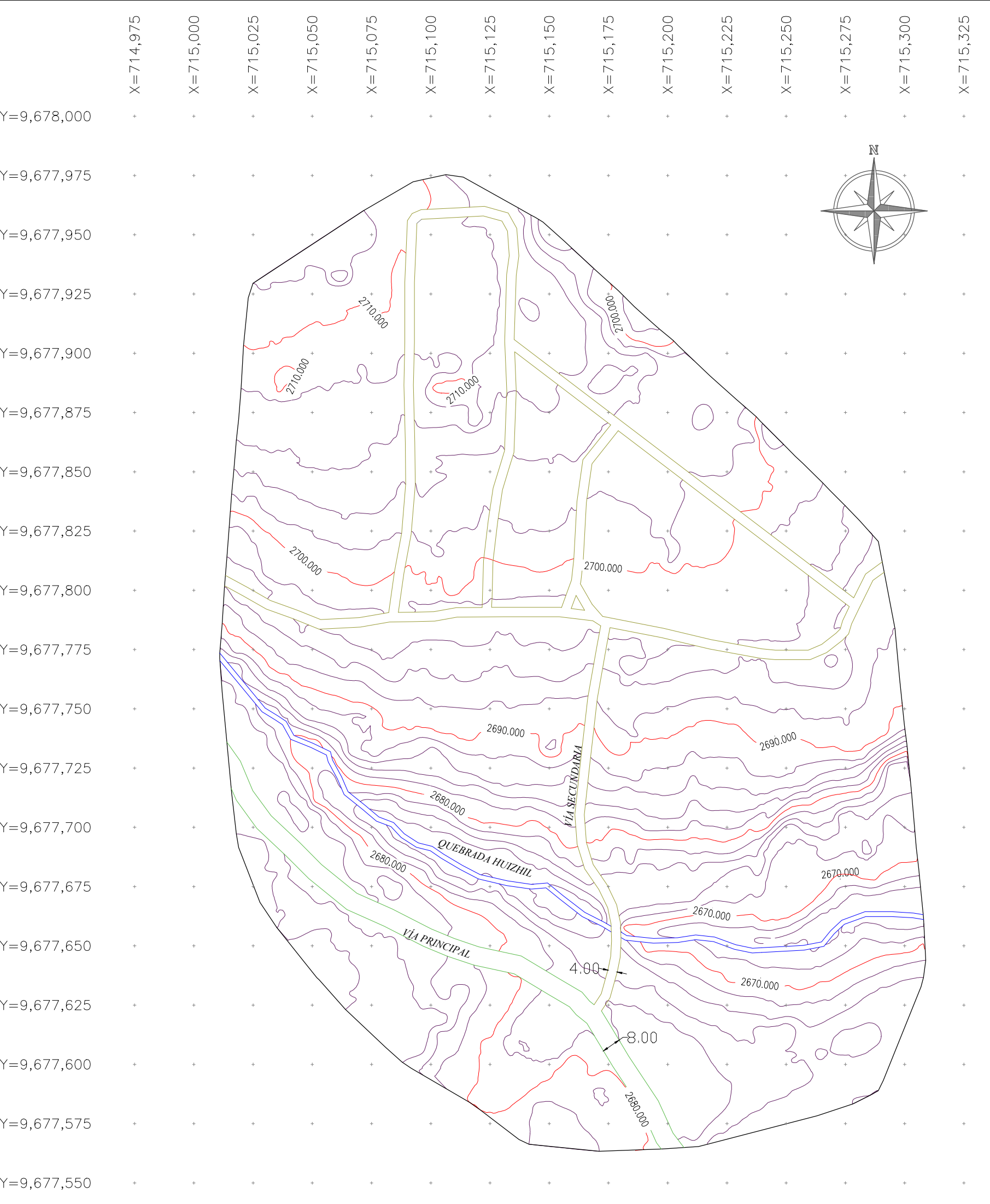
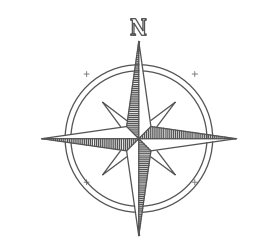
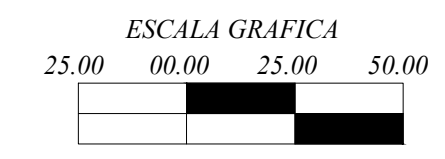
TUTOR:  
**ING. GOETHE EMMANUEL PALOMEQUE LARRIVA**

ESCALA:  
 1:2500

FECHA:  
 23 / AGOSTO / 2021

Nº **1** /1

DESCRIPCIÓN	
	CURVA DE NIVEL MAYOR
	CURVA DE NIVEL MENOR
	QUEBRADA HUIZHIL
	VÍA PRINCIPAL
	VÍA SECUNDARIA
	DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



# Anexo 2

Proceso de validación de Datos aplicando prueba Q de Dixon.

Tabla 17: Análisis de la prueba Q para el día 1.

DIA 1								
Hora	DATOS	ORDEN DE DATOS	X3-x1	Xn-1-X1	Q (l/s)	Q 95%	ACEP/RECH	
1	7:00	0,19633869	0,13650956	0,00852531	0,29463053	0,02893559	0,592	ACEPTA
2	8:00	0,20628937	0,14349545	0,0018736	0,29463053	0,00635914	0,592	ACEPTA
3	9:00	0,18592387	0,14503487	0,02609579	0,29463053	0,08857122	0,592	ACEPTA
4	10:00	0,19542643	0,14536905	0,03151927	0,29463053	0,10697897	0,592	ACEPTA
5	11:00	0,17688832	0,17113065	0,01479322	0,29463053	0,05020939	0,592	ACEPTA
6	12:00	0,13650956	0,17688832	0,01853811	0,29463053	0,06291987	0,592	ACEPTA
7	13:00	0,45064405	0,18592387	0,01041482	0,29463053	0,03534876	0,592	ACEPTA
8	14:00	0,14349545	0,19542643	0,01086294	0,29463053	0,0368697	0,592	ACEPTA
9	15:00	0,17113065	0,19633869	0,2348014	0,29463053	0,79693504	0,592	RECHAZA
10	16:00	0,14503487	0,20628937	0,24435467	0,29463053	0,82935964	0,592	RECHAZA
11	17:00	0,43114009	0,43114009	0,2348014	0,29463053	0,79693504	0,592	RECHAZA
12	18:00	0,14536905	0,45064405	0,24435467	0,29463053	0,82935964	0,592	RECHAZA

Tabla 18: Análisis de la prueba Q para el día 1 (continuación)

DATOS	ORDEN DE DATOS	X2-x1	Xn-1-X1	Q (l/s)	Q 95%	ACEP/RECH	CAUDAL (l/s)
0,19633869	0,13650956	0,00698589	0,04941431	0,14137391	0,615	ACEPTA	0,16247227
0,20628937	0,14349545	0,00153941	0,04941431	0,03115322	0,615	ACEPTA	
0,18592387	0,14503487	0,00033418	0,04941431	0,00676285	0,615	ACEPTA	
0,19542643	0,14536905	0,0257616	0,04941431	0,52133889	0,615	ACEPTA	
0,17688832	0,17113065	0,00575767	0,04941431	0,1165182	0,615	ACEPTA	
0,13650956	0,17688832	0,00903555	0,04941431	0,18285294	0,615	ACEPTA	
0,45064405	0,18592387	0,00950256	0,04941431	0,19230384	0,615	ACEPTA	
0,14349545	0,19542643	0,00950256	0,04941431	0,19230384	0,615	ACEPTA	

Tabla 19: Análisis de la prueba Q para el día 2.

DIA 2								
Hora	DATOS	ORDEN DE DATOS	X3-x1	Xn-1-X1	Q (l/s)	Q 95%	ACEP/RECH	CAUDAL (l/s)
1	7:00	0,06954639	0,069546	0,11200805	0,24882283	0,45015181	0,592	ACEPTA
2	8:00	0,11651	0,11651	0,0959148	0,24882283	0,38547428	0,592	ACEPTA
3	9:00	0,26379164	0,181554	0,0358729	0,24882283	0,14417047	0,592	ACEPTA
4	10:00	0,18155444	0,212425	0,03514943	0,24882283	0,14126287	0,592	ACEPTA
5	11:00	0,39472471	0,217427	0,03679764	0,24882283	0,14788692	0,592	ACEPTA
6	12:00	0,31310256	0,247574	0,01621741	0,24882283	0,06517652	0,592	ACEPTA
7	13:00	0,2124248	0,254225	0,01424381	0,24882283	0,05724479	0,592	ACEPTA
8	14:00	0,21742734	0,263792	0,04931093	0,24882283	0,19817686	0,592	ACEPTA
9	15:00	0,31836922	0,268469	0,04990042	0,24882283	0,200546	0,592	ACEPTA
10	16:00	0,26846879	0,313103	0,08162215	0,24882283	0,3280332	0,592	ACEPTA
11	17:00	0,25422498	0,318369	0,04990042	0,24882283	0,200546	0,592	ACEPTA
12	18:00	0,24757423	0,394725	0,08162215	0,24882283	0,3280332	0,592	ACEPTA

0,23814326

Tabla 20: Análisis de la prueba Q para el día 3.

DIA 3								
Hora	DATOS	ORDEN DE DATOS	X3-x1	Xn-1-X1	Q (l/s)	Q 95%	ACEP/RECH	CAUDAL (l/s)
1	7:00	0,0535343	0,0535343	0,01485613	0,13726258	0,10823146	0,592	ACEPTA
2	8:00	0,06839042	0,06198477	0,0156806	0,13726258	0,11423795	0,592	ACEPTA
3	9:00	0,06198477	0,06839042	0,03914963	0,13726258	0,28521708	0,592	ACEPTA
4	10:00	0,07766537	0,07766537	0,03027333	0,13726258	0,22055047	0,592	ACEPTA
5	11:00	0,19079688	0,10754006	0,03157828	0,13726258	0,23005747	0,592	ACEPTA
6	12:00	0,13911834	0,10793869	0,03599325	0,13726258	0,26222183	0,592	ACEPTA
7	13:00	0,14393194	0,13911834	0,01351916	0,13726258	0,09849124	0,592	ACEPTA
8	14:00	0,20384545	0,14393194	0,01418878	0,13726258	0,10336961	0,592	ACEPTA
9	15:00	0,15812072	0,1526375	0,03815938	0,13726258	0,27800275	0,592	ACEPTA
10	16:00	0,10754006	0,15812072	0,04572473	0,13726258	0,33311869	0,592	ACEPTA
11	17:00	0,1526375	0,19079688	0,03815938	0,13726258	0,27800275	0,592	ACEPTA
12	18:00	0,10793869	0,20384545	0,04572473	0,13726258	0,33311869	0,592	ACEPTA

0,12212537

Tabla 21: Análisis de la prueba Q para el día 4.

DIA 4								
Hora	DATOS	ORDEN DE DATOS	X3-x1	Xn-1-X1	Q (l/s)	Q 95%	ACEP/RECH	CAUDAL (l/s)
1	7:00	0,67117199	0,10946819	0,1307228	0,59544987	0,2195362	0,592	ACEPTA
2	8:00	0,98578385	0,13071167	0,12436987	0,59544987	0,20886706	0,592	ACEPTA
3	9:00	0,51854932	0,24019099	0,09779205	0,59544987	0,16423221	0,592	ACEPTA
4	10:00	0,44325644	0,25508154	0,11786526	0,59544987	0,19794321	0,592	ACEPTA
5	11:00	0,33798304	0,33798304	0,1052734	0,59544987	0,17679642	0,592	ACEPTA
6	12:00	0,49612189	0,3729468	0,12317509	0,59544987	0,20686055	0,592	ACEPTA
7	13:00	0,25508154	0,44325644	0,07529287	0,59544987	0,12644704	0,592	ACEPTA
8	14:00	0,24019099	0,49612189	0,1750501	0,59544987	0,29397957	0,592	ACEPTA
9	15:00	0,10946819	0,51854932	0,18636875	0,59544987	0,31298814	0,592	ACEPTA
10	16:00	0,13071167	0,67117199	0,31461187	0,59544987	0,52835995	0,592	ACEPTA
11	17:00	0,3729468	0,70491806	0,18636875	0,59544987	0,31298814	0,592	ACEPTA
12	18:00	0,70491806	0,98578385	0,31461187	0,59544987	0,52835995	0,592	ACEPTA

Tabla 22: Análisis de la prueba Q para el día 5.

DIA 5								
Hora	DATOS	ORDEN DE DATOS	X3-x1	Xn-1-X1	Q (l/s)	Q 95%	ACEP/RECH	
1	7:00	0,36224019	0,30234904	0,0039139	0,19118551	0,02047176	0,592	ACEPTA
2	8:00	0,36680329	0,30307526	0,00644314	0,19118551	0,03370097	0,592	ACEPTA
3	9:00	0,30626294	0,30626294	0,04038632	0,19118551	0,21124155	0,592	ACEPTA
4	10:00	0,30307526	0,3095184	0,04033465	0,19118551	0,21097129	0,592	ACEPTA
5	11:00	0,30234904	0,34664927	0,01559092	0,19118551	0,08154867	0,592	ACEPTA
6	12:00	0,34664927	0,34985305	0,01695024	0,19118551	0,08865863	0,592	ACEPTA
7	13:00	0,39024845	0,36224019	0,02800826	0,19118551	0,14649783	0,592	ACEPTA
8	14:00	0,34985305	0,36680329	0,03892125	0,19118551	0,20357845	0,592	ACEPTA
9	15:00	0,49353455	0,39024845	0,1032861	0,19118551	0,5402402	0,592	ACEPTA
10	16:00	0,67717531	0,40572454	0,27145077	0,19118551	1,4198292	0,592	RECHAZA
11	17:00	0,3095184	0,49353455	0,1032861	0,19118551	0,5402402	0,592	ACEPTA
12	18:00	0,40572454	0,67717531	0,27145077	0,19118551	1,4198292	0,592	RECHAZA

Tabla 23: Análisis de la prueba Q para el día 5. (continuación)

DATOS	ORDEN DE DATOS	X2-X1	Xn-1-X1	Q (l/s)	Q 95%	ACEP/RECH
0,30234904	0,30234904	0,00072622	0,08789941	0,00826193	0,534	ACEPTA
0,30307526	0,30307526	0,00318768	0,08789941	0,03626514	0,534	ACEPTA
0,30626294	0,30626294	0,00325545	0,08789941	0,03703611	0,534	ACEPTA
0,3095184	0,3095184	0,03713087	0,08789941	0,42242455	0,534	ACEPTA
0,34664927	0,34664927	0,00320378	0,08789941	0,03644828	0,534	ACEPTA
0,34985305	0,34985305	0,01238714	0,08789941	0,14092405	0,534	ACEPTA
0,36224019	0,36224019	0,0045631	0,08789941	0,05191278	0,534	ACEPTA
0,36680329	0,36680329	0,02344516	0,08789941	0,26672714	0,534	ACEPTA
0,39024845	0,39024845	0,1032861	0,08789941	1,17504878	0,534	RECHAZA
0,49353455	0,49353455	0,1032861	0,08789941	1,17504878	0,534	RECHAZA

Tabla 24: Análisis de la prueba Q para el día 5. (continuación)

DATOS	ORDEN DE DATOS	X2-X1	Xn-1-X1	Q (l/s)	Q 95%	ACEP/RECH
0,30234904	0,30234904	0,00072622	0,05989115	0,01212564	0,615	ACEPTA
0,30307526	0,30307526	0,00318768	0,05989115	0,05322464	0,615	ACEPTA
0,30626294	0,30626294	0,00325545	0,05989115	0,05435615	0,615	ACEPTA
0,3095184	0,3095184	0,03713087	0,05989115	0,61997257	0,615	RECHAZA
0,34664927	0,34664927	0,00320378	0,05989115	0,05349342	0,615	ACEPTA
0,34985305	0,34985305	0,01238714	0,05989115	0,20682758	0,615	ACEPTA
0,36224019	0,36224019	0,0045631	0,05989115	0,07618994	0,615	ACEPTA
0,36680329	0,36680329	0,0045631	0,05989115	0,07618994	0,615	ACEPTA

Tabla 25: Análisis de la prueba Q para el día 5. (continuación)

DATOS	ORDEN DE DATOS	X2-X1	Xn-X1	Q (l/s)	Q 95%	ACEP/RECH
0,30234904	0,30234904	0,00072622	0,06445425	0,0112672	0,625	ACEPTA
0,30307526	0,30307526	0,04357401	0,06445425	0,67604549	0,625	RECHAZA
0,34664927	0,34664927	0,00320378	0,06445425	0,0497063	0,625	ACEPTA
0,34985305	0,34985305	0,01238714	0,06445425	0,19218501	0,625	ACEPTA
0,36224019	0,36224019	0,0045631	0,06445425	0,070796	0,625	ACEPTA
0,36680329	0,36680329	0,0045631	0,06445425	0,070796	0,625	ACEPTA

Tabla 26: Análisis de la prueba Q para el día 5. (continuación)

DATOS	ORDEN DE DATOS	X2-X1	Xn-X1	Q (l/s)	Q 95%	ACEP/RECH	CAUDAL (l/s)
0,30234904	0,30234904	0,04430023	0,06445425	0,68731269	0,71	ACEPTA	0,34557897
0,34664927	0,34664927	0,00320378	0,06445425	0,0497063	0,71	ACEPTA	
0,34985305	0,34985305	0,01238714	0,06445425	0,19218501	0,71	ACEPTA	
0,36224019	0,36224019	0,0045631	0,06445425	0,070796	0,71	ACEPTA	
0,36680329	0,36680329	0,0045631	0,06445425	0,070796	0,71	ACEPTA	

Tabla 27: Análisis de la prueba Q para obtener el caudal in situ

DIAS	DATOS	ORDEN DE DATOS	X2-X1	Xn-X1	Q (l/s)	Q 95%	ACEP/RECH	CAUDAL (l/s)
1	0,16247227	0,12212537	0,0403469	0,31672328	0,12738851	0,71	ACEPTA	0,261433704
2	0,23814326	0,16247227	0,07567099	0,31672328	0,23891829	0,71	ACEPTA	
3	0,12212537	0,23814326	0,10743571	0,31672328	0,33921002	0,71	ACEPTA	
4	0,43884865	0,34557897	0,09326968	0,31672328	0,29448318	0,71	ACEPTA	
5	0,34557897	0,43884865	0,09326968	0,31672328	0,29448318	0,71	ACEPTA	

Análisis de agua in situ por 5 días consecutivos

Tabla 28: Resultados de análisis de agua in situ. Día 1.

DATOS IN SITU					
FECHA		5/10/2020			
Muestra	Hora	Oxígeno Disuelto mg/l	pH	Conductividad µs/cm	Temperatura °C
1	7:00	5,18	5,72	2,33	15,8
2	8:00	6,61	5,40	1047	16,1
3	9:00	4,65	7,68	920	15
4	10:00	4,61	7,59	724	16,3
5	11:00	5	7,52	725	15,6
6	12:00	4,31	7,50	757	16
7	13:00	3,15	7,55	679	15,9
8	14:00	4,21	7,50	572	16,2
9	15:00	3,60	7,62	720	17,7
10	16:00	5,38	7,82	679	17,7
11	17:00	5,88	7,47	432	16,4
12	18:00	5,05	7,08	578	15,2

Tabla 29: Resultados de análisis de agua in situ. Día 2.

DATOS IN SITU					
FECHA		6/10/2020			
Muestra	Hora	Oxígeno Disuelto	pH	Conductividad	Temperatura
		mg/l		µs/cm	°C
1	7:00	4,98	7,01	768	14,4
2	8:00	5,41	6,94	896	14,2
3	9:00	4,42	6,54	900	14,5
4	10:00	4,46	7,02	615	15,4
5	11:00	3,76	6,85	702	17
6	12:00	4,64	5,58	772	16,7
7	13:00	5,65	7,06	531	16,8
8	14:00	3,3	6,58	318	16,1
9	15:00	3,9	6,93	579	16,3
10	16:00	5,17	6,77	638	15,8
11	17:00	4,6	6,98	456	15,3
12	18:00	4,54	6,92	475	16,9

Tabla 30: Resultados de análisis de agua in situ. Día 3.

DATOS IN SITU					
FECHA		7/10/2020			
Muestra	Hora	Oxígeno Disuelto	pH	Conductividad	Temperatura
		mg/l		µs/cm	°C
1	7:00	5,65	6,62	818	13,6
2	8:00	5,50	6,68	351	13,1
3	9:00	2,32	6,49	559	17,9
4	10:00	4,48	7,02	682	18,8
5	11:00	3,51	6,90	616	19,7
6	12:00	3,17	6,47	626	18,04
7	13:00	2,72	6,56	485	19,03
8	14:00	2,07	6,42	226	18,8
9	15:00	5,60	6,55	582	21,7
10	16:00	2,90	6,90	569	18
11	17:00	4,61	6,49	580	18,2
12	18:00	2,31	6,48	607	16,3

Tabla 31 Resultados de análisis de agua in situ. Día 4.

DATOS IN SITU					
FECHA		8/10/2020			
Muestra	Hora	Oxígeno Disuelto	pH	Conductividad	Temperatura
		mg/l		µs/cm	°C
1	7:00	6,12	6,35	545	14,5
2	8:00	5,39	6,54	629	14,1
3	9:00	5,46	6,13	628	14,1
4	10:00	4,03	6,52	612	13,9
5	11:00	4,27	6,42	730	20,3
6	12:00	2,33	6,57	704	18,1
7	13:00	2,89	6,19	614	21,4
8	14:00	2,99	6,38	650	17,1
9	15:00	3,82	6,71	447	20,1
10	16:00	3,19	6,47	446	18,2
11	17:00	5,28	6,4	657	15,4
12	18:00	4,20	6,64	687	16,6

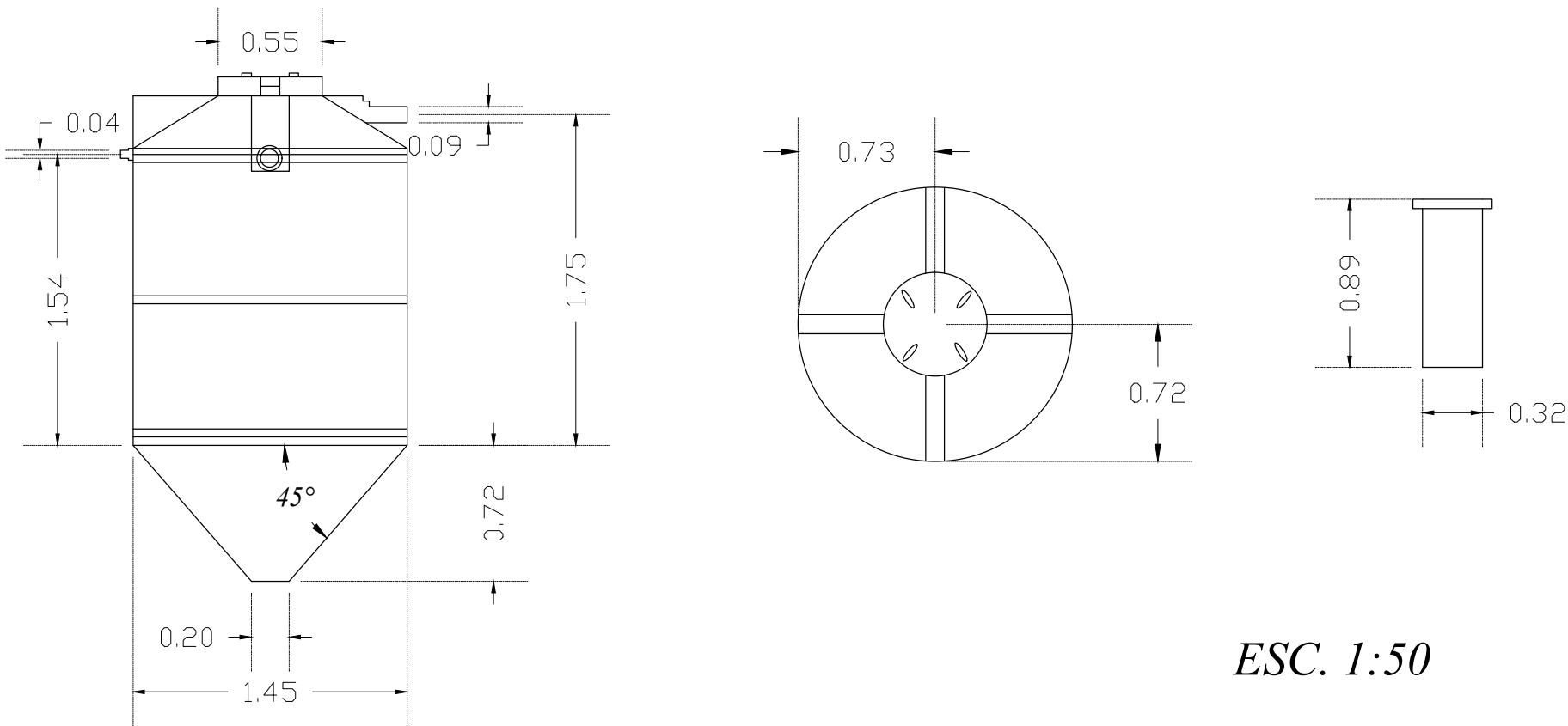
Tabla 32: Resultados de análisis de agua in situ. Día 5.

DATOS IN SITU					
FECHA		9/10/2020			
Muestra	Hora	Oxígeno Disuelto	pH	Conductividad	Temperatura
		mg/l		µs/cm	°C
1	7:00	4,86	6,49	915	14,5
2	8:00	3,59	6,78	1016	14
3	9:00	3,31	6,58	866	16,4
4	10:00	3,58	6,89	741	16,2
5	11:00	3,77	6,54	533	18,6
6	12:00	3,52	6,74	563	17,6
7	13:00	3,41	6,48	566	19,8
8	14:00	3,56	6,68	625	18,8
9	15:00	2,83	6,55	628	19,8
10	16:00	2,26	6,68	634	19,1
11	17:00	4,45	6,9	526	17,6
12	18:00	3,79	6,47	588	16,4

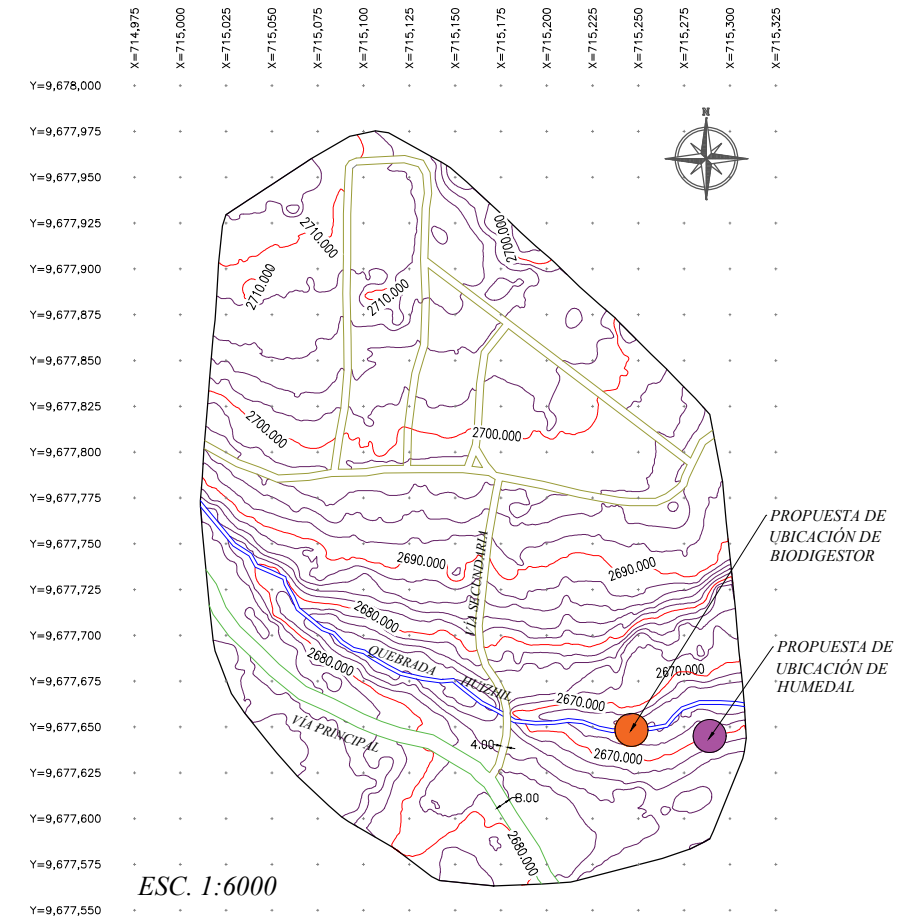
# Anexo 3

# BIODIGESTOR AUTOLIMPLIABLE ROTOPLAS

# LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO



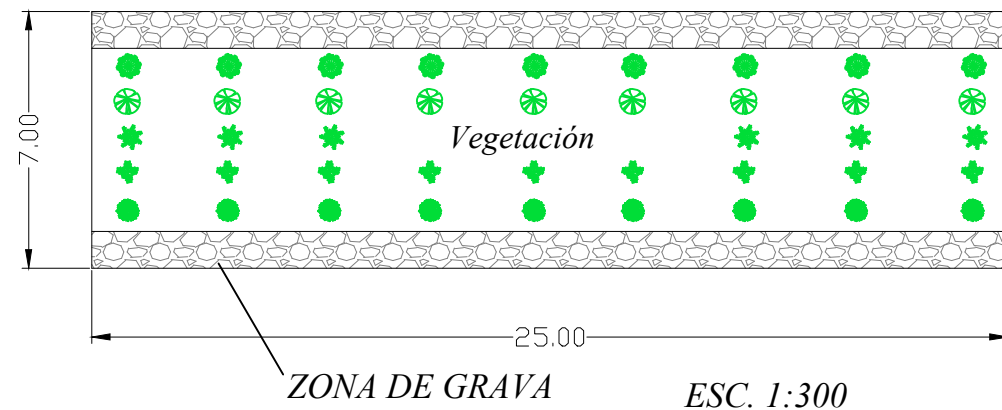
ESC. 1:50



ESC. 1:6000

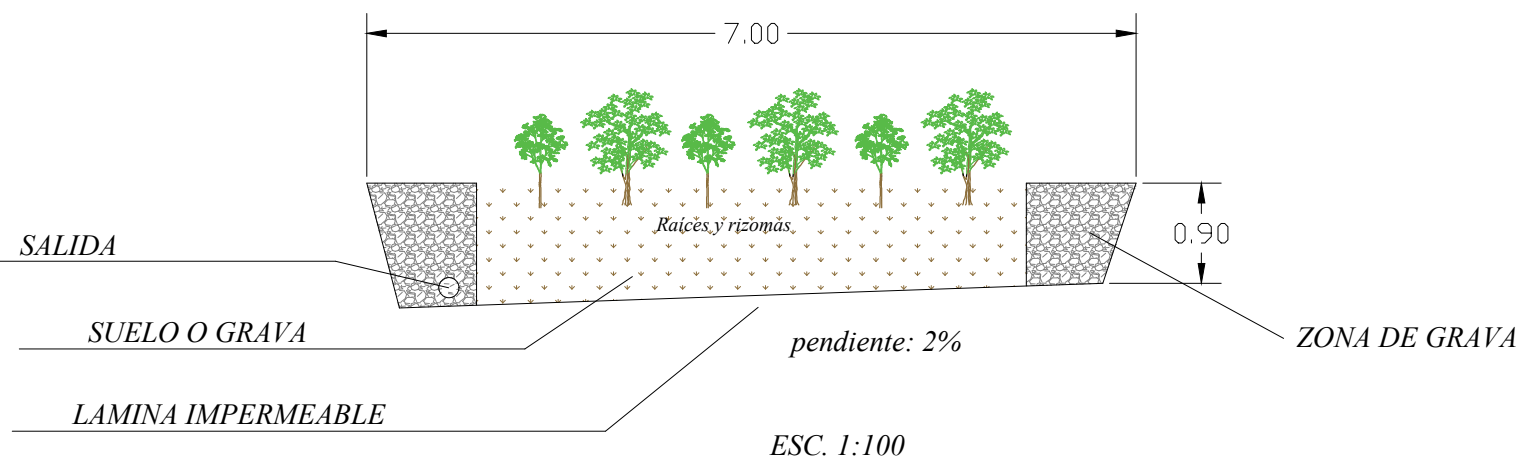
DESCRIPCIÓN	COORDENADAS UTM WGS - 84
UBICACIÓN BIODIGESTOR	715245.86 9677646.81
UBICACIÓN HUMEDAL	715288.55 9677643.45

HUMEDAL - VISTA EN PLANTA



ESC. 1:300

HUMEDAL - VISTA TRANSVERSAL



ESC. 1:100



PROYECTO:

PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
DESCARGADAS EN LA QUEBRADA HUIZHUL DE LA  
CIUDAD DE CUENCA.

PLANO:

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO - DISEÑO BIODIGESTOR  
DISEÑO HUMEDAL

AUTOR:

MARÍA DOMÉNICA ESPINOZA ESQUIVEL  
CÉDULA DE IDENTIFICACIÓN: 0302596622

TUTOR:

ING. GOETHE EMMANUEL PALOMEQUE LARRIVA

ESCALA:  
INDICADAS

FECHA:  
23 / AGOSTO / 2021

Nº  
1 /1

## Abstract

MARIA DOMENICA ESPINOZA ESQUIVEL

The lack of a wastewater treatment system in the Huizhil ravine of Baños of Cuenca has generated pollution problems in the water and banks of the stream. This work aims to propose an adequate treatment method that reduces water pollution and provides a better living standard for the population.

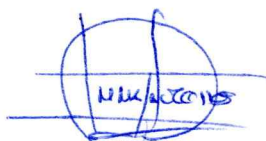
A survey to collect information of the Huizhil area was carried out determining design parameters such as population, flow, and water quality through statistical analysis, laboratory test, and field tests, a bibliographic review was applied to evaluate the biodigester and wetland treatment systems, proposing a technical proposal on these methods, hoping that their use will generate a reduction of impacts.

The parameters established for the design of wastewater treatment systems are capable of providing a good service to the population, providing reliability and economy for a long time. As a result, a Rotoplas self-cleaning biodigester with a capacity of 3000 liters, and a horizontal subsurface flow wetland with a required area of 175 m<sup>2</sup> were proposed. The same ones that, by working together, guarantee that the wastewater from the Huizhil stream will reduce its degree of contamination, providing adequate social well-being for the residents of the area, and a low budget for construction and maintenance.

**Keywords: wastewater, pollution, stream, treatment system.**

Azogues, 26 de octubre de 2021

EL CENTRO DE IDIOMAS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA, CERTIFICA QUE EL DOCUMENTO QUE ANTECEDE FUE TRADUCIDO POR PERSONAL DEL CENTRO PARA LO CUAL DOY FE Y SUSCRIBO.



**Abg. Lilibian Urgilés Amoroso, Mgs.**  
**COORDINADORA CENTRO DE IDIOMAS AZOGUES**



UCACUE-CAVU-UT-2021-023-AP  
Azogues, 11 de octubre de 2021

Ingeniero  
Ricardo Romero González  
**DIRECTOR DE CARRERA**

Ingeniero  
Goethe Palomeque Larriva  
**DOCENTE TUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**  
**INGENIERÍA CIVIL SEDE AZOGUES**  
Ciudad

**ASUNTO:** Índice de similitud del trabajo de titulación de la estudiante **María Doménica Espinoza Esquivel**.

**REFERENCIA:** Oficio Nro. UCACUE-GP-G-21-22-001

Reciban un cordial y atento saludo; en atención a la solicitud en referencia adjunto el presente "PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DESCARGADAS EN LA QUEBRADA HUIZHIL DE LA CIUDAD DE CUENCA", elaborado por la estudiante **Esquivel María Doménica**. El resultado presenta un índice de similitud del **DIEZ POR CIENTO (10%)**, siendo inferior al límite de lo establecido en el *Reglamento de la Unidad de Titulación*, y en consecuencia **APTO** para continuar con el proceso de titulación. Adjunto el documento completo revisado por el sistema Turnitin.

EspinozaEsquivel - E2

INFORME DE ORIGINALIDAD


<b>10%</b>	<b>10%</b>	<b>2%</b>	<b>%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>dspace.espoch.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>2</b>	<b>pt.slideshare.net</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>3</b>	<b>dspace.ucuenca.edu.ec</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>

Particular que pongo a su conocimiento para fines pertinentes.

Atentamente;  
DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

  
Ing. Cristian Arturo Vintimilla Ulloa MSc.  
RESPONSABLE DE UNIDAD DE TITULACIÓN  
INGENIERÍA CIVIL SEDE AZOGUES



Firmado electrónicamente por:  
**CRISTIAN ARTURO**  
**VINTIMILLA**  
**ULLOA**



El Bibliotecario de la Sede Azogues

## **CERTIFICA:**

Que, **María Doménica Espinoza Esquivel** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0302596622** de la Carrera de **Ingeniería Civil**, Sede Azogues, Modalidad de estudios presencial no adeuda libros, a esta fecha.

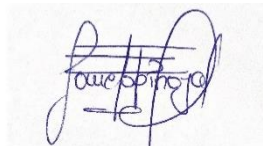
Azogues, **21 de octubre del 2021**

  
**Byron Alonso Torres Romo**  
Bibliotecario

  
Universidad  
Católica  
de Cuenca  
**SEDE AZOGUES**  
**BIBLIOTECA**

**María Doménica Espinoza Esquivel** portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0302596622**. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Propuesta de tratamiento de aguas residuales descargadas en la quebrada Huizhil de la ciudad de Cuenca”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Azogues, **21 de octubre de 2021**



F: .....

**María Doménica Espinoza Esquivel**

**C.I. 0302596622**



Byron Alonso Torres Romo  
Bibliotecario



SEDE AZOGUES  
BIBLIOTECA