



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

Diseño del sistema de alcantarillado sanitario para la comunidad “El Prado”, perteneciente al cantón Daule provincia del Guayas.

AUTORA:

Cujilema Cujilema, Josselyn Adriana

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERA CIVIL**

TUTORA:

Ing. Glas Cevallos, Clara Catalina, Ms.C.

**Guayaquil, Ecuador
13 de septiembre del 2021**



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Cujilema Cujilema, Josselyn Adriana**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniera Civil**.

TUTORA

f. _____
Ing. Glas Cevallos, Clara Catalina, Ms.C.

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____
Ing. Alcívar Bastidas, Stefany, M.SC.

Guayaquil, a los 13 del mes de septiembre del año 2021



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Yo, **Cujilema Cujilema, Josselyn Adriana**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Diseño del sistema de alcantarillado sanitario para la comunidad “El Prado”, perteneciente al cantón Daule provincia del Guayas**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Civil** ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 13 del mes de septiembre del año 2021

LA AUTORA

f. _____
Cujilema Cujilema, Josselyn Adriana



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

AUTORIZACIÓN

Yo, Cujilema Cujilema, Josselyn Adriana

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Diseño del sistema de alcantarillado sanitario para la comunidad “El Prado”, perteneciente al cantón Daule provincia del Guayas**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 13 del mes de septiembre del año 2021

LA AUTORA:

f. _____
Cujilema Cujilema, Josselyn Adriana



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

ING. CHON DÍAZ, CARLOS, M.SC.
DECANO DE LA FACULTAD

f. _____

ING. CAMACHO MONAR, MÉLIDA, PHD.
COORDINADOR DEL ÁREA

f. _____

ING. PLAZA VERA, FERNANDO JAVIER, PHD.
OPONENTE

REPORTE DE URKUND



Urkund Analysis Result

Analysed Document: JOSSELYN_CUJILEMA_FINAL.docx (D112904416)
Submitted: 9/19/2021 2:04:00 PM
Submitted By: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec
Significance: 7 %

Sources included in the report:

GAMARRA_CARLOS FINAL.docx (D112904015)
Tesis_Joseline Valeria Zambonino Quisanga.pdf (D110498776)
TESIS SDM.pdf (D15481351)
<https://docplayer.es/176316536-Universidad-de-cuenca.html>
<https://www.daule.gob.ec/web/guest/datos-generales>
https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005.%20Gu%C3%ADa%20para%20el%20dise%C3%B1o%20de%20tanques%20s%C3%A9pticos.pdf
<https://core.ac.uk/download/61000588.pdf>
<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/6400/9.20.001312.pdf?sequence=4&isAllowed=yGuadua>
http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13464/BOL%C3%8DVAR%20PATRICIO%20L%C3%81RRAGA%20JURADO_.pdf?sequence=1&isAllowed=yLavayen
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/11234/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-270.pdf>
<https://docplayer.es/78386978-Universidad-estatal-peninsula-de-santa-elena-facultad-de-ingenieria-industrial-escuela-de-ingenieria-industrial.html>
https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA%202015.%20Manual%20Humedales%20Artificiales%2030.pdf
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/5679/1/96T00338.pdf>
<http://ri.ues.edu.sv/4197/1/Manual%20para%20el%20dise%C3%B1o%20de%20unidades%20de%20tipo%20biologico%20en%20plantas%20de%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20dom%C3%A9sticas%20en%20El%20Salvador.pdf>
<https://docplayer.es/20495044-Universidad-de-cuenca.html>
<http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/9777/1/15408.pdf>
<https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/801/1/T.AMB.B.UEA.%20%203239.pdf>
<https://dspace.cuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2399/1/tq1028.pdf>
<http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/11458/3164/3/SANITARIA%20-%20Ingr%20Margoth%20Vela%20Rios.pdf.txt>
<https://docplayer.es/44918647-Manual-de-agua-potable-alcantarillado-y-saneamiento.html>

Instances where selected sources appear:

AGRADECIMIENTOS

Trabajo de titulación realizado en la Universidad Católica Santiago de Guayaquil. En primer lugar, agradezco a Dios por darme la vida, por guiarme a lo largo de mi carrera universitaria, por ser el apoyo fundamental y la fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad; y lo más importante por permitir que mi familia esté siempre presente.

Gracias a mis padres Teresa Cujilema y Francisco Yugán, por ser los principales promotores de cumplir cada uno de mis sueños, por la confianza, por los consejos y valores que me han inculcado. Gracias a mi hermano Darwin Cujilema, por su apoyo incondicional durante todo este proceso y por estar a mi lado en todo momento. Gracias a mi familia y amigos por sus oraciones y palabras de aliento que hicieron de mí, una mujer fuerte capaz de salir adelante ante cualquier obstáculo de la vida; y que, de una u otra forma me acompañan en cada uno de mis sueños y metas.

Gracias a mis profesores de la Universidad por haber compartido sus conocimientos a lo largo de mi preparación como profesional en esta carrera, de la misma forma, agradezco a mi tutora de Tesis Ingeniera Clara Glas, quien me ha guiado con paciencia y rectitud a lo largo de este proyecto.

Gracias a los habitantes y dirigentes de la comunidad del Prado por su valiosa colaboración, al llevar a cabo este trabajo de investigación.

Josselyn Cujilema Cujilema

DEDICATORIA

Dedico principalmente a Dios este trabajo de investigación, por ser mi inspirador y aquel que me da fuerzas para continuar en este proceso de la obtención del título, el cual es uno de mis anhelos más deseados.

A mis padres, por brindarme su inmenso amor, trabajo, confianza y sobretodo sacrificio en todos estos años. Gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy; me siento feliz y privilegiada por ser su hija y agradezco a Dios, Todopoderoso, por ser uno de los mejores padres.

A mi hermano por acompañarme y por apoyarme cuando más lo necesito, por estar siempre presente en los momentos difíciles y por haberme orientado en todos los momentos que necesité sus consejos.

A todas las personas que me han apoyado y han permitido que este trabajo se realice con éxito y aquellos que me han brindado su apoyo y conocimiento para desarrollarme profesionalmente.

Josselyn Cujilema Cujilema

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	2
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
METODOLOGÍA.....	4
ALCANCE.....	5
CAPÍTULO I	6
1.1 Descripción del área de estudio.....	6
1.1.1 Límites.....	6
1.1.2 Clima	7
1.1.3 Sistemas Hídricos	8
1.1.4 Uso de Suelo.....	9
1.2 Ubicación geográfica de la comunidad “El Prado”	9
1.2.1 Límites.....	9
1.2.2 Coordenadas UTM.....	10
1.3 Vías de Acceso a la comunidad “El Prado”	10
1.4 Geología.....	11
1.5 Población	12
1.6 Servicios Básicos.....	12
1.7 Organización de la comunidad.....	14
1.8 Agricultura.....	15
CAPÍTULO II	16
2.1 Metodología.....	16
CAPÍTULO III	20
Diseño de Sistema de Alcantarillado Sanitario	20
3. Criterios generales de diseño	20
3.1 Período de diseño.....	20

3.2	Población de diseño.....	20
3.3	Nivel de servicio.....	21
3.4	Dotación	22
3.5	Factor de retorno (Cr)	23
3.6	Variaciones de consumo	23
3.6.1	Caudal medio.....	23
3.6.2	Coeficiente de mayoración	24
3.6.3	Caudal Máximo Horario.....	24
3.6.4	Caudal de Infiltración	24
3.6.5	Caudal de ilícito	25
3.6.6	Caudal de Diseño.....	25
3.7	Diámetro mínimo de la tubería	26
3.8	Distancia máxima entre pozos	26
3.9	Conexiones domiciliarias.....	26
3.10	Condiciones hidráulicas.....	27
3.11	Coeficiente de Rugosidad	27
3.12	Esfuerzo Cortante.....	28
CAPÍTULO IV		29
Dimensionamiento y Modelo		29
4.1	Modelación del sistema mediante la hoja de cálculo Excel.	29
4.2	Modelación del sistema mediante SewerCad.....	33
4.3	Resultados según la hoja de cálculo Excel y el Software SewerCad.....	34
CAPÍTULO V		35
Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para la comunidad “El Prado”.		36
5.1	Características de las aguas residuales del cantón Daule.....	36
5.2	Criterios para la localización y disponibilidad del terreno para la construcción de la planta de tratamiento	36

5.3	Ubicación de la planta de tratamiento.....	37
	Coordenadas UTM.....	37
5.4	Normas para caracterización de las aguas residuales.....	38
5.5	Diseño de planta de tratamiento	39
5.5.1	Pretratamiento	39
5.5.1.1	Canal de Entrada	39
5.5.1.2	Cribado.....	43
5.5.2	Tratamiento Primario	46
5.5.2.1	Tanque Séptico.....	46
5.5.2.1.1	Localización de un Tanque Séptico.....	47
5.5.2.1.2	Ventajas y Desventajas del Tanque Séptico.....	47
5.5.2.1.3	Principios de diseño de un Tanque Séptico.....	48
5.5.2.1.4	Dimensiones internas del Tanque Séptico.....	48
5.5.2.1.5	Pasos para el diseño del Tanque Séptico.....	50
5.5.2.1.6	Diseño del Tanque Séptico.....	52
5.5.3	Tratamiento Secundario.....	56
5.5.3.1	Humedales Artificiales	56
5.5.3.2	Funciones de los humedales artificiales.....	56
5.5.3.3	Humedales artificiales de flujo subsuperficial.....	57
5.5.3.4	Tipos de humedales artificiales de flujo subsuperficial.....	58
5.5.3.5	Parámetros de diseño de humedales artificiales de flujo subsuperficial.....	61
5.5.3.6	Diseño del humedal de flujo subsuperficial	69
5.5.4	Diseño del canal rectangular.....	79
5.6	Medición de caudales en la planta de tratamiento.....	81
CAPITULO VI.....		84
6.1	Presupuesto	84

CONCLUSIONES.....	86
RECOMENDACIONES	88
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
ANEXOS.....	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas UTM de la zona de estudio. Comunidad "El Prado".....	10
Tabla 2. Cálculo de la Población de la Comunidad "El Prado"	12
Tabla 3. Niveles de servicio para sistemas de abastecimiento de agua, disposición de excretas y residuos líquidos.....	22
Tabla 4. Dotaciones de agua para los diferentes niveles de servicio	23
Tabla 5. Aportes máximos por drenaje domiciliario de aguas lluvias sin sistema pluvial.....	25
Tabla 6. Distancias máximas entre pozos de revisión.	26
Tabla 7. Límites máximos de velocidades a tubo lleno.....	27
Tabla 8. Coeficientes de rugosidad recomendados.....	28
Tabla 9. Caudal de diseño de PZN ⁰¹ -PTAR.....	29
Tabla 10. Cálculo de caudales, velocidades, relaciones hidráulicas de tramos PZN ⁰¹ -PTAR.....	30
Tabla 11. Cálculo del pérdidas y esfuerzo cortante en tramos PZN ⁰¹ -PTAR.....	31
Tabla 12. Cálculo de las cotas y profundidades en tramos PZN ⁰¹ -PTAR	32
Tabla 13. Resultado obtenido de la hoja de Cálculo de Excel.....	34
Tabla 14. Resultado obtenido de la hoja de software SewerCad.....	35
Tabla 15. Coordenadas UTM de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad "El Prado".....	37
Tabla 16. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	38
Tabla 17. <i>Relaciones Geométricas de las secciones transversales rectangulares.</i>	40
Tabla 18. Datos de diseño del Canal de Entrada.....	40
Tabla 19. Resumen del diseño del canal de entrada.	42
Tabla 20. Características de rejillas de barras	43
Tabla 21. Datos iniciales para el diseño de rejillas	44
Tabla 22. Resumen del diseño de la rejilla.....	45
Tabla 23. Cantidades de lodos producidos de acuerdo a la temperatura.....	50
Tabla 24. Datos para el diseño del Tanque Séptico.....	52
Tabla 25. Porcentaje de eficiencia considerada para la remoción de los contaminantes de las aguas residuales en el tanque séptico por varios autores.	54
Tabla 26. Concentración de los contaminantes en el efluente del tanque séptico...	55

Tabla 27. Resumen del diseño del tanque séptico.....	55
Tabla 28. Criterios de diseño típico de los HHAA FSS y la calidad de efluentes esperados.....	58
Tabla 29. <i>Rendimientos de depuración en Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal.</i>	59
Tabla 30. Rendimientos de depuración en Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal.....	60
Tabla 31. Características típicas de los medios.....	63
Tabla 32. Propiedades físicas del agua.....	68
Tabla 33. Características típicas de los medios de un humedal.....	69
Tabla 34. Vegetación depuradora a utilizar en el Humedal Artificial.....	70
Tabla 35. Datos para el diseño del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.....	71
Tabla 36. Resumen del diseño del humedal de flujo subsuperficial.....	79
Tabla 37. Datos para el diseño del canal rectangular.....	79
Tabla 38. Resumen del diseño del canal rectangular.....	80

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. <i>Limitación del Cantón Daule</i>	6
Ilustración 2. <i>Ubicación de Guayaquil al área de estudio, comunidad "El Prado"</i>	7
Ilustración 3. <i>Cuencas y Subcuencas del Cantón Daule</i>	8
Ilustración 4. <i>Uso del Suelo en el Cantón</i>	9
Ilustración 5. <i>Área delimitada de la zona de estudio, comunidad El Prado.</i>	10
Ilustración 6. <i>Carretera Lastrada de la comunidad "El Prado"</i>	11
Ilustración 7. <i>Carretera de acceso a la comunidad. Vía Santa Lucia-Daule</i>	11
Ilustración 8. <i>Ubicación de los canales de riego de la comunidad</i>	15
Ilustración 9. <i>Nivelación del área de estudio con nivel automático Sokkia.</i>	17
Ilustración 10. <i>Levantamiento topográfico de la comunidad del Prado con Dron Paton RTK</i>	18
Ilustración 11. <i>Curva de nivel de la comunidad El Prado.</i>	18
Ilustración 12. <i>Fotos obtenidas por el equipo Dron Paton 4 RTK de la comunidad del Prado.</i>	19
Ilustración 13. <i>Proceso de obtención de la ortofotografía de la comunidad del Prado</i>	19
Ilustración 14. <i>Datos de diseño del Software SewerCad.</i>	33
Ilustración 15. <i>Datos de ingreso de diseño, pendientes mínimas y máximas</i>	33
Ilustración 16. <i>Catálogo de tuberías comerciales que se consideraron para el diseño.</i>	34
Ilustración 17. <i>Caracterización de las aguas residuales del Cantón Daule.</i>	36
Ilustración 18. <i>Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad "El Prado"</i>	38
Ilustración 19. <i>Sección Transversal del canal de entrada.</i>	43
Ilustración 20. <i>Detalle de la rejilla.</i>	46
Ilustración 21. <i>Detalle longitudinal del tanque séptico</i>	56
Ilustración 22. <i>Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal.</i>	58
Ilustración 23. <i>Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Vertical.</i>	59
Ilustración 24. <i>Componentes del balance hidráulico del humedal de flujo subsuperficial de tipo horizontal.</i>	62

Ilustración 25. Totoras.....	70
Ilustración 26. Guadua.....	70
Ilustración 27. Detalle del canal rectangular.	81
Ilustración 28. Detalle de la sección transversal del humedal de diseño.	81
Ilustración 29. Detalle del vertedero metálico.	82
Ilustración 30. Detalle del vertedero metálico.	83
Ilustración 31. Presupuesto referencial del diseño de la obra.	85
Ilustración 32. Valores de los caudales de los vertederos metálicos	99

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la comunidad “El Prado” perteneciente al cantón Daule provincia del Guayas, a través de un enfoque mixto cualitativo-cuantitativo, con el objetivo de diseñar, modelar el sistema de alcantarillado sanitario y proponer el tratamiento de las aguas residuales adecuada para la comunidad. Con un periodo de diseño de 25 años y una población futura de 535 habitantes, de los cálculos otorgados por la hoja de Excel se obtuvo un caudal de diseño de 9.70 l/s; a su vez, el diseño de la red primaria consta de tuberías de 160 y 200 mm de diámetro, la red secundaria y terciaria de 160 mm de diámetro. Los colectores del sistema de alcantarillado sanitario adoptado, cumplen con los criterios de la norma ecuatoriana CPE INEN 5 con pendientes, velocidades, relaciones hidráulicas Q/Q_0 y esfuerzos cortantes.

La PTAR propuesta para la comunidad del Prado está compuesta de: un pretratamiento que se compone por un canal de entrada y un sistema de cribado conformado por 9 rejillas, un tratamiento primario que consta de dos tanques sépticos con dimensiones de 12 m² de superficie y una profundidad de 1,70 m y, por último, un tratamiento secundario compuesto de dos humedales artificiales.

Esta PTAR propuesta fue diseñada para cumplir con la norma TULSMA, ANEXO1 LIBRO VI y de esta manera obtener una correcta remoción de D.Q.O5, D.B.O, Fósforo total, Sólidos suspendidos totales, Nitrógeno y Coliformes Fecales; el presupuesto total del proyecto es de \$169.708.45

Palabras Claves: tratamiento de aguas residuales, Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial, Comunidad, Sistema de Tratamiento, Presupuesto.

RESUMEN (ABSTRACT)

This research work was carried out in the community "El Prado" belonging to the Cantón Daule Province of Guayas, through a mixed qualitative-quantitative approach, with the aim of designing, modeling the sanitary sewer system and proposing the treatment of the wastewater suitable for the community. With a design period of 25 years and a future population of 535 inhabitants, from the calculations provided by the Excel spreadsheet, a design flow of 9.70 l / s was obtained; in turn, the design of the primary network consists of 160- and 200-mm diameter pipes the secondary and tertiary network of 160 mm in diameter. The collectors of the adopted sanitary sewer system meet the criteria of the Ecuadorian standard CPE INEN 5 with slopes, speeds, hydraulic ratios Q/Q_0 and shear stresses.

The proposed WWTP for the Prado community is composed of: a pretreatment that consists of an inlet channel and a screening system made up of 9 grids, a primary treatment that consists of two septic tanks with dimensions of 12 m² of surface and a depth of 1.70 m and, finally, a secondary treatment consisting of two constructed wetlands.

This proposed WWTP was designed to comply with the TULSMA standard, ANNEX1 BOOK VI and in this way obtain a correct removal of D.Q.O₅, D.B.O, Total Phosphorus, Total Suspended Solids, Nitrogen and Fecal Coliforms; the total project budget is \$ 169,708.45

Key words: wastewater treatment, Subsurface Flow Artificial Wetland, Community, Treatment System, Budget.

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la construcción, las obras civiles son consideradas un rubro muy importante para el desarrollo de toda comunidad, ciudad o país, ya que mediante ellas se crea la posibilidad de abarcar y suplir las necesidades básicas de su población.

En este contexto es que se plantea que los sistemas de alcantarillado desempeñan un rol importante en la estructuración de diseños de saneamiento básico de toda comunidad, puesto que permite mejorar la calidad de vida y prevenir la proliferación de enfermedades causadas por huéspedes que se alojan en estancamientos de masas de aguas lluvias y aguas residuales, que por lo general suelen encontrarse en calles, canales, ríos, entre otros (Márquez, 2020).

De acuerdo a la Organización Mundial de Salud (2019) el 39% de la población mundial aproximadamente 2900 millones de personas, utilizan un servicio de alcantarillado y saneamiento de forma segura, refiriéndose al hecho de que pueden realizar la disposición de sus desechos en un lugar adecuado para esto, sin embargo el 2300 millones de personas no cuentan aún con instalaciones de saneamiento básicas y al menos el 10% de la población mundial estaría consumiendo día a día alimentos regados con fracciones de aguas contaminadas e incluso residuales.

Es por esta razón que alrededor de 280.000 muertes por diarrea cada año se hacen presentes, por el saneamiento deficiente que existe alrededor del mundo y que incluso contribuye a la malnutrición (OMS, 2019).

En los países en vías de desarrollo, existen varias explicaciones para la existencia o la falta de cuidado de los sistemas de alcantarillado sanitario adecuados. En Ecuador, más del 90% de los Municipios no ejecuta correctamente el tratamiento de las aguas servidas que generan debido a que son muy pocos los que cuentan con un servicio de saneamiento adecuado (El Universo, 2020). Uno de los factores que influye en el crecimiento de este problema, es el constante desplazamiento poblacional que se viene dando durante décadas hacia las grandes ciudades crea desorden y desorganización en cuanto a planes de lotizaciones respecta, ya que la mayoría de los ciudadanos no poseen códigos catastrales y por ende se evidencia la ausencia de los

servicios básicos en el sector que habitan (Márquez, 2020).

La presente investigación tiene como finalidad, diseñar un sistema de alcantarillado sanitario para la comunidad “El Prado” perteneciente al cantón Daule ubicada en el KM 53 vía Daule, teniendo en consideración cada uno de los criterios de diseños estipulados por las normativas del instituto ecuatoriano de normalización (CPE INEN 5) y la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso de igual (Libro VI del TULSMA), de tal manera que lo que se plasme sea un modelo seguro, viable y mejore la calidad de vida de los ciudadanos que habitan en dicho sector.

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y modelar el sistema de alcantarillado sanitario para la comunidad “El Prado”, perteneciente al cantón Daule ubicado en el Km. 53 Vía Daule- Santa Lucía.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar encuestas para conocer el número de habitantes por vivienda con la finalidad de obtener la población de la comunidad del Prado.
- Realizar la topografía: Levantamiento topográfico, curva de nivel, barimetría y Ortofotografía.
- Establecer los requerimientos del diseño según las normas CPE INEN 5 y Libro VI TULSMA para el diseño del sistema de alcantarillado sanitario, la cual incluye las redes de alcantarillado y la planta de tratamiento a través de la hoja de cálculo Excel.
- Modelar las redes de alcantarillado sanitario empleando las normativas técnicas y de diseño (CPE INEN 5) mediante el uso del software SewerCad.
- Elaborar el presupuesto del sistema de alcantarillado sanitario.

METODOLOGÍA

El tipo de investigación tendrá un enfoque cualitativo-cuantitativo, cuantitativo porque por medio de encuestas se evaluará la problemática actual del estudio y cuantitativa por que será por medio de cálculos y datos numéricos que se elaborará el diseño del sistema propuesto.

Al ejecutar esta metodología se emplearon métodos mixtos basados en:

- A. Revisión Bibliográfica
- B. Levantamiento de información de campo
 - Entrevista Socio-Económica
 - Levantamiento Topográfico

Donde el levantamiento de información de campo comprende:

- Reconocimiento del área de estudio: predios, canales y manzanas.
- Entrevistas socioeconómicas a los dirigentes de la comuna.
- Visita al municipio de Daule con el fin de solicitar las características de las aguas residuales del cantón.
- Encuestas para estimar el número de habitantes por vivienda con el objetivo de conocer la población total.
- Topografía de la comunidad, donde el levantamiento topográfico fue la parte esencial del proyecto, pues mediante él se va obtener las curvas de nivel de la zona de estudio en nuestro caso la comunidad “El Prado”, teniendo las curvas de nivel se podrá realizar el trazado de las redes de alcantarillado con la finalidad de que las tuberías trabajen a gravedad, a su vez nos permitirá conocer y ratificar las cotas más bajas de la zona requeridas para la implantación de una planta de tratamiento.

ALCANCE

El presente trabajo investigativo tiene como finalidad, el aportar a la comunidad “El Prado”, un estudio de diseño y modelación del sistema alcantarillado sanitario completo, que incluirá las redes alcantarillado y una planta de tratamiento.

El diseño propuesto cumplirá con cada uno de los requerimientos exigidos y estipulados en las normas de CPE INEN 5 y el Libro VI del TULSMA establecidos en la región, con la finalidad de satisfacer las necesidades de la población y restablecer la calidad de vida de cada uno de ellos.

Además, mediante el análisis económico, se dará a conocer el costo de la obra para que el Municipio de Daule conozca la inversión del proyecto y de esta manera pueda ejecutar lo más pronto posible, evitando así futuras consecuencias graves para la población ocasionadas por el colapso del sistema actual de aguas lluvias y grises.

El Cantón Daule se encuentra dividido por 4 Parroquias Rurales las cuales son:

- Enrique Baquerizo Moreno (Los Lojas)
- Juan Bautista Aguirre (Los Tintos)
- El Laurel
- El Limonal

Y a su vez cuenta con 7 Parroquias Urbanas:

- Magro
- Banife
- Juan Bautista Aguirre
- Santa Clara
- Emiliano Caicedo
- Vicente Piedrahita
- Satélite La Aurora

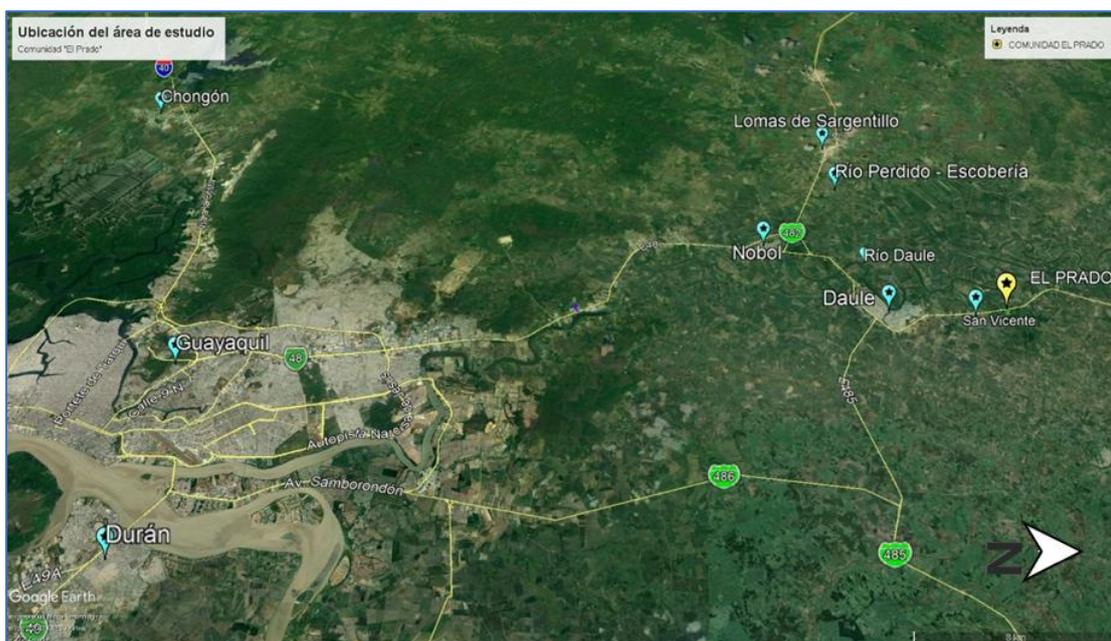


Ilustración 7. Ubicación de Guayaquil al área de estudio, comunidad "El Prado"

Fuente:(Google Maps, 2021).

1.1.2 Clima

El Cantón Daule posee características climáticas bastante uniformes, podemos definir que el Cantón se encuentra entre dos distintas zonas climáticas; una de ellas la parte sur y occidental con un clima Tropical Megatérmico Semi-Húmedo y el resto posee un clima Tropical Megatérmico Húmedo (GAD, 2015).

- **Temperatura:** El Cantón presenta una temperatura promedio anual de 26° C.
- **Precipitación:** Registra precipitaciones medias al año de 750 y 1250 mm. Su estación lluviosa se presenta desde el mes de noviembre hasta abril, y su estación seca empieza desde los meses de mayo a octubre.
- **Humedad Relativa:** Su humedad relativa es del 89%, según datos del INAMHI.
- **Vientos:** Los vientos que predominan mayormente son provenientes del este al oeste con velocidades promedio de 6,24 m/s.

1.1.3 Sistemas Hídricos

El Cantón Daule pertenece a la Sub-Cuenca del Río Daule; la más grande de las Cuencas del Guayas abarca una extensión de 11.567,15 km² representando así el 5% del territorio y el 36% de toda la Cuenca del Río Guayas. El Río Daule pertenece a una de las 7 subcuencas que forman la Cuenca del Río Guayas con un caudal promedio máximo de 1000 m³/s y un promedio mínimo de 100 m³/s; posee una pendiente leve del orden de 0,2% al 0,05%. El sistema Hídrico del Cantón Daule lo conforman los Ríos: Daule, Pula, Jigual, Jaboncillo y un sin número de canales de riego que cubren en su totalidad el área del suelo agrícola del cantón (GAD, 2015, p. 50).

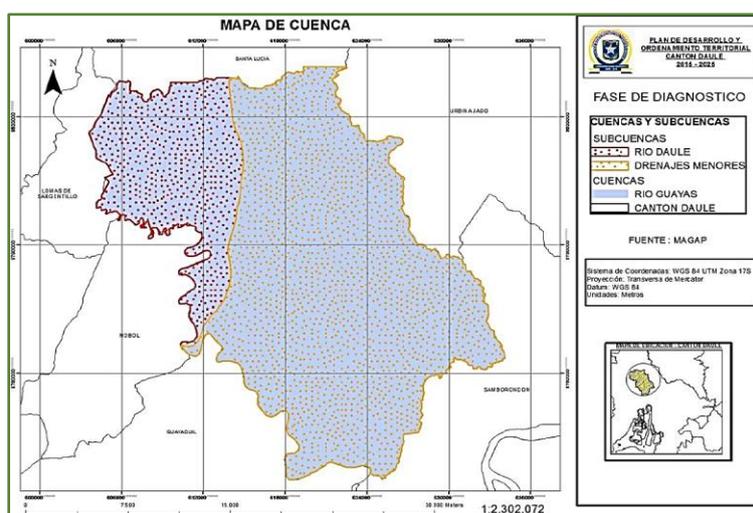


Ilustración 8. Cuencas y Subcuencas del Cantón Daule

Fuente:(GAD, 2015)

1.1.4 Uso de Suelo

El Cantón Daule en su mayoría se encuentra cubierto por cultivos de arroz, estos ocupan aproximadamente el 70% de la superficie del mismo; el segundo de los cultivos de mayor importancia es el pasto que ocupa un 8,58% de la superficie del Cantón. Es por esta razón que los habitantes de la zona se dedican únicamente a la producción de arroz (GAD, 2015, p. 27).

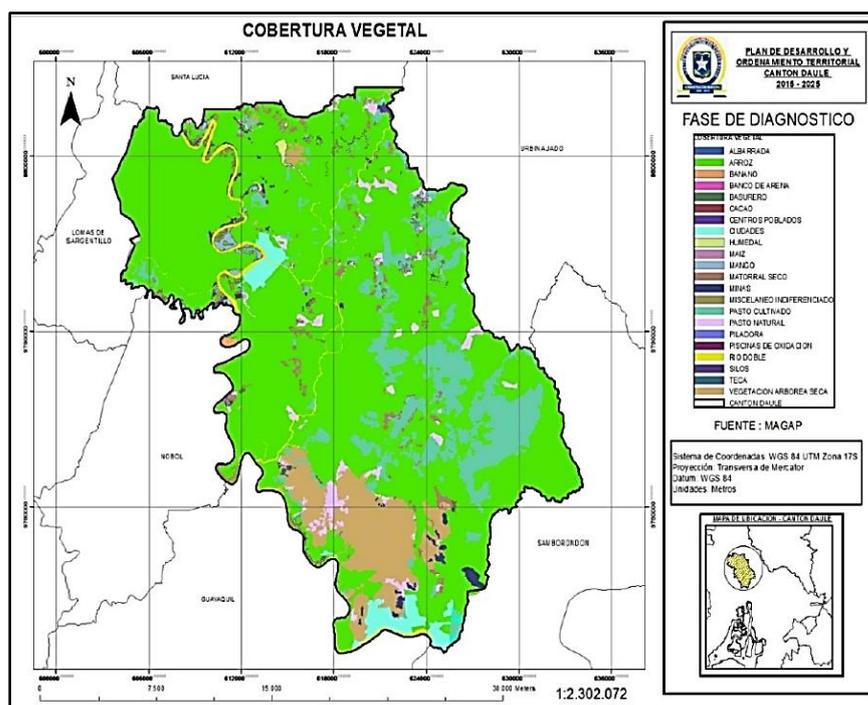


Ilustración 9. Uso del Suelo en el Cantón

Fuente: (GAD, 2015).

1.2 Ubicación geográfica de la comunidad “El Prado”

La comunidad “El Prado” con una extensión de 6,1 hectáreas, se encuentra ubicado geográficamente dentro de la Parroquia “El Limonal” perteneciente al Cantón Daule, Provincia del Guayas en el kilómetro 53 Vía Daule-Santa Lucía.

1.2.1 Límites

- **Norte:** Comunidad “Jesús María”
- **Sur:** Comunidad “Las Animas”
- **Este:** Comunidad “Flor María”
- **Oeste:** “Los Jazmines de Arriba”

1.2.2 Coordenadas UTM

Tabla 1. Coordenadas UTM de la zona de estudio. Comunidad "El Prado"

Extensión (Zona 17M)	Norte (m)	Este (m)
Zona habitada	9799909	613054

Fuente: Información tomada de Google Earth y adaptada por Josselyn Cujilema



Ilustración 10. Área delimitada de la zona de estudio, comunidad El Prado.

1.3 Vías de Acceso a la comunidad "El Prado"

La carretera que actualmente se encuentra habilitada para acceder a la comunidad "El Prado", es la Vía Santa Lucia-Daule la cual está formada en toda su extensión de pavimento flexible y en buenas condiciones para la movilización. Las demás vías de acceso a la comunidad, es decir las carreteras secundarias; solo tienen su camino lastrado.



Ilustración 11. Carretera Lastrada de la comunidad “El Prado”



Ilustración 12. Carretera de acceso a la comunidad. Vía Santa Lucía-Daule

1.4 Geología

La comunidad “El Prado” presenta en su composición distintas formaciones geológicas, como lo son las llanuras aluviales recientes, éstas corresponden a una extensa área geográfica plana y en algunos de los casos, ligeramente ondulada con altitudes no menores a 5 m (GAD, 2015).

Se conforma también, de llanuras aluviales antiguas que tienen un mayor grado de consolidación que las llanuras aluviales recientes y de depósitos

aluviales de textura variable, compuestos de arcillas limos y arenas no consolidadas (GAD, 2015).

El suelo que la comunidad posee se considera de reciente deposición, es decir, se encuentra formado por la acumulación reciente de sedimentos, que carecen de modificaciones generadas por agentes externos como lo son; el agua, el clima etc. A su vez son considerados como suelos de alta productividad, pues permiten que en ellos se realice una agricultura intensiva y mecanizada siendo aptos para todo tipo de cultivo y factibles para el uso de riego (GAD, 2015).

1.5 Población

Mediante encuestas realizadas a parte de los moradores del Cantón (20 personas), y la contabilización de las viviendas de acuerdo al número de plantas se logró obtener un promedio del número de habitantes por vivienda que la comunidad “El Prado” presenta.

De acuerdo a la tabulación de los datos obtenidos se obtuvo lo siguiente:

Tabla 2. *Cálculo de la Población de la Comunidad "El Prado"*

Número de Pisos	Cantidad de personas habitadas	Número de viviendas	Población (habs.)
1	4	80	320
2	3	18	54
Total		98	374

Fuente: Autora

La comunidad del Prado posee 98 viviendas con un total de 374 habitantes, de los cuales la mayoría se dedica a la producción y comercialización del arroz.

1.6 Servicios Básicos

▪ Agua Potable

La comunidad “El Prado” cuenta con el 100% de cobertura para el servicio de agua potable, éste se provee de forma continua por la empresa EMAPA EP Daule; la cobertura sólo se ve interrumpida cuando la empresa EMAPA EP Daule ejecuta la limpieza y el mantenimiento de las tuberías que conforman la red de distribución, claro está; que se realiza un comunicado

antes de llevar a cabo el mantenimiento para que la comunidad pueda abastecerse de agua potable de la forma correcta.

La calidad del agua que se provee a los habitantes de la comunidad es calificada como muy buena, pues no presenta olores desagradables y su color es cristalino. Por ello, alrededor del 95% de los habitantes la utilizan para sus múltiples propósitos como lo son: beber, lavar los platos, limpiar el hogar, preparar los alimentos, etc. Y, el 5% restante de los habitantes no utiliza el agua para su consumo como tal, pues debido a la limpieza de tuberías que la empresa realiza, el agua suele presentar turbiedad.

Cada vivienda cuenta con su respectivo medidor, de acuerdo a (Herrera, Steeven, 2020) En los sectores rurales la tarifa varía entre 16 a 30 m³.

La mayoría de los habitantes paga mensualmente alrededor de 6 dólares, es decir, un consumo de 17 m³ de agua. Este valor se cancela directamente a la empresa EMAPA EP-DAULE.

▪ **Alcantarillado Sanitario**

La comunidad “El Prado” no cuenta con un sistema de alcantarillado sanitario como tal, por ello las aguas negras y grises generadas van directamente al pozo séptico de las viviendas de la comunidad, cada vivienda; posee alrededor de uno a dos pozos sépticos, los cuales se llenan muy rápido debido al consumo excesivo de agua por parte de los habitantes.

La limpieza de cada pozo séptico está aproximadamente a 25 dólares y muchos de los habitantes no cuentan con el dinero necesario para costearlo pues la economía de la comunidad es relativamente baja.

A diferencia de las aguas grises; el agua utilizada por los moradores para los quehaceres domésticos, es lanzada a la carretera o cerca de sus viviendas por los mismos habitantes, muchas veces esta agua se acumula en terrenos vacíos y se empoza ahí, generando un foco de plagas, mosquitos y el crecimiento de malas hierbas y algas.

- **Alcantarillado Pluvial:**

La comunidad no tiene una recolección de aguas lluvias, por lo que estas aguas escurren por los terrenos bajos hasta llegar a los sembríos de arroz y canal 2.

- **Economía:**

La economía de la comunidad se basa en la agricultura, principalmente en los cultivos de arroz. Sin embargo, últimamente debido a la Pandemia del Covid-19 ésta se ha visto golpeada ya que el precio del quintal de arroz tuvo un decrecimiento de alrededor 11 dólares, pues; de \$35 éste bajó a \$24, se puede decir que los productores de arroz ganan lo justo para cubrir sus necesidades básicas.

- **Energía Eléctrica:**

“El Prado” cuenta con servicio eléctrico.

- **Recolección de Desechos:**

El servicio de recolección de basura se realiza una vez por semana.

1.7 Organización de la comunidad

En cuanto a organización, la comunidad del Prado se conforma por una directiva y un dirigente, quienes fueron elegidos mediante votaciones por los moradores.

La directiva se encarga de administrar la cooperativa de producción “Alianza Definitiva”, fundada el 29 de abril 1972 con personería jurídica mediante Acuerdo Ministerial No. 1872. Ésta se encuentra integrada por 76 socios encargados únicamente del cultivo y la comercialización de arroz producido por la comunidad.

En la actualidad, la comunidad cuenta con una junta de riego que le permite captar el agua del río Daule hacia los canales existentes. Esta junta fue fundada hace dos años.

1.8 Agricultura

Los habitantes de la comunidad “El Prado” se dedican específicamente a la agricultura, principalmente al cultivo de arroz, producto que aporta y mantiene su economía; de igual forma cultivan banano y coco, siendo estos generalmente utilizados para el propio consumo de los moradores.

La comunidad cuenta con dos canales de riego ubicados hacia el norte, el canal 1 se encuentra a una distancia de 131 metros y el canal 2 a 121 metros, ambas medidas desde el centro de la calle principal de la comunidad.

El agua de estos canales es captada del río Daule y utilizada para mantener la agricultura de la comunidad.



Ilustración 13. Ubicación de los canales de riego de la comunidad

CAPÍTULO II

2.1 Metodología

La metodología en la que se basa el presente proyecto es participativa-acción, de acuerdo a Guevara & Verdesoto (2020) es una metodología que contribuye a la riqueza y expansión del conocimiento; pues genera un sin número de respuestas concretas a una problemática planteada. Estudia el objeto o problema de forma tal, que incluye todos los factores que lo componen, siendo uno de estos los factores sociales involucrados los procedimientos que se seguirán para mejorarlos y por último los logros que se alcanzarán. Para estudiar el problema se debe iniciar con un diagnóstico de la situación, la consulta a los actores sociales que intervienen en el problema, sus puntos de vista u opiniones, y lo más importante si el tema de estudio es susceptible a un cambio (Guevara & Verdesoto, 2020).

El tipo de investigación tendrá un enfoque cualitativo-cuantitativo, cuantitativo porque por medio de encuestas se evaluó la problemática presente del estudio y cuantitativa por que será por medio de cálculos y datos numéricos que se elaborará el diseño del sistema propuesto.

Al ejecutar esta metodología se emplearon métodos mixtos basados en:

A. Revisión Bibliográfica

B. Levantamiento de información de campo

- Entrevista Socio-Económica
- Levantamiento Topográfico

Donde el levantamiento de información de campo comprende:

- Reconocimiento del área de estudio: predios, canales y manzanas con la finalidad de poder realizar los trazados de las aceras y bordillos de la comunidad “El Prado”.
- Entrevistas socioeconómicas a los dirigentes de la comuna: A través de la entrevista realizada, se obtuvo un mayor conocimiento acerca de la población que conforma la comunidad, entre esta información se contempla; los servicios básicos de los cuales hacen uso, su economía, las actividades que realizan, etc.
- Visita al municipio de Daule: Se realizó la visita previa al desarrollo del

presente proyecto, con la finalidad de solicitar las características de las aguas residuales de la comunidad “El Prado”. Datos relevantes al momento de seleccionar el tipo de tratamiento de aguas residuales, que debe ejecutarse.

- Encuestas: se realizaron con el objetivo de estimar el número de habitantes por viviendas, es decir, la población total.
- Topografía de la comunidad: Se realizó el levantamiento topográfico, del cual se obtuvieron; las curvas de nivel de la zona de estudio, lo que agilizó la elaboración del trazado de las redes de alcantarillado, con la finalidad de que las tuberías trabajen a gravedad, a su vez, permitió conocer y ratificar las cotas más bajas de la zona, requeridas para la ubicación y el emplazamiento de la planta de tratamientos propuesta. Este punto se realizó de la siguiente forma:
 - ✓ Levantamiento topográfico usando Dron Panton 4 RTK.
 - ✓ Diferentes capas de las curvas de nivel empleando nivel automático Sokkia y Dron Panton 4 RTK. Las curvas de nivel de la comunidad del Prado, se presentan en los planos N°1 y N°7.
 - ✓ Barimetría del canal, donde se realizará la toma de varios puntos a lo largo del canal, se muestran en el plano N°8.
 - ✓ Ortofotografía con Dron Panton 4 RTK.



Ilustración 14. Nivelación del área de estudio con nivel automático Sokkia.



Ilustración 15. Levantamiento topográfico de la comunidad del Prado con Dron Paton RTK

Proceso de obtención de la curva de nivel

Para obtener las curvas de nivel in situ, se utilizó el nivel automático Sokkia y el Dron Panton 4 RTK. Mediante estos equipos se obtuvieron varios puntos georeferenciados en coordenadas UTM y la altimetría de la comunidad. Datos que fueron exportados y convertidos en un archivo delimitado por coma (CSV), posterior a ello, se ingresaron al software AutoCad Civil 3D para generar las respectivas, curvas de nivel.

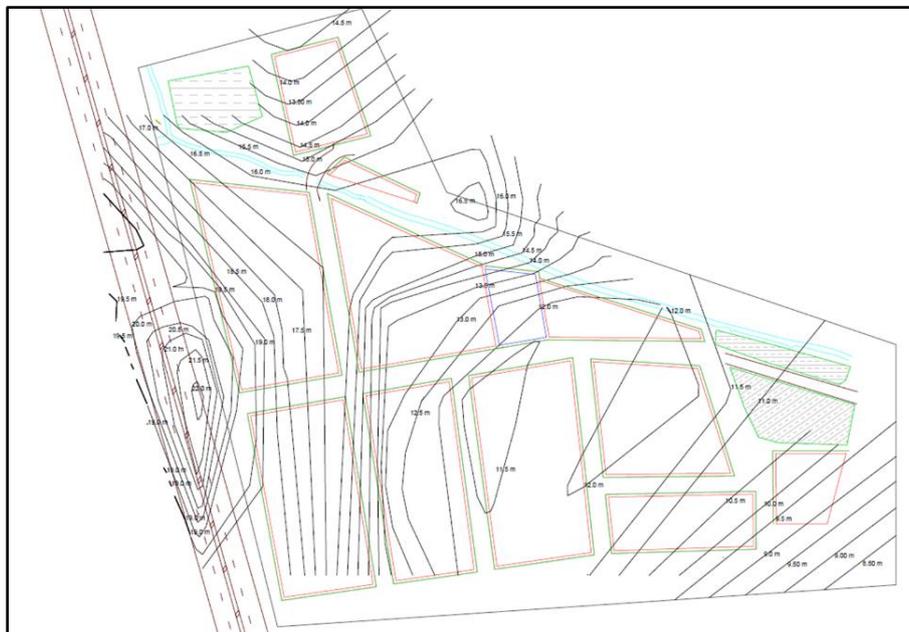


Ilustración 16. Curva de nivel de la comunidad El Prado.

▪ Proceso de obtención de ortofoto

Se utilizó el Dron Paton 4 RTK para obtener la ortografía de la comunidad, a través de este equipo se obtuvieron 286 fotos, mismas, que fueron procesadas en el software Agisoft Metashape con el objetivo de obtener la ortofoto entera, de la comunidad “El Prado”. Consecuentemente, se realizó el trazado de las manzanas, los predios, la carretera principal de acceso a la comunidad, la acera y bordillos, etc., por medio del software, AutoCad 2018.

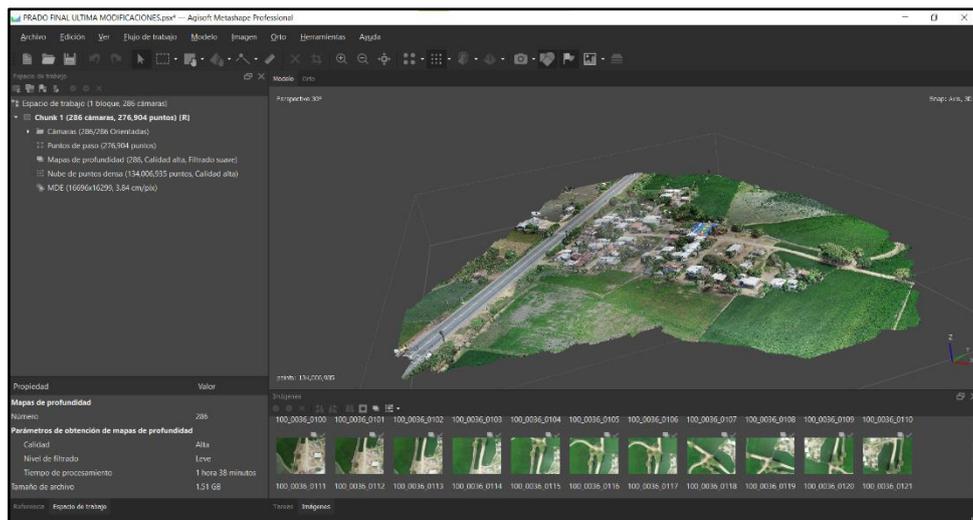


Ilustración 17. Fotos obtenidas por el equipo Dron Paton 4 RTK de la comunidad del Prado.

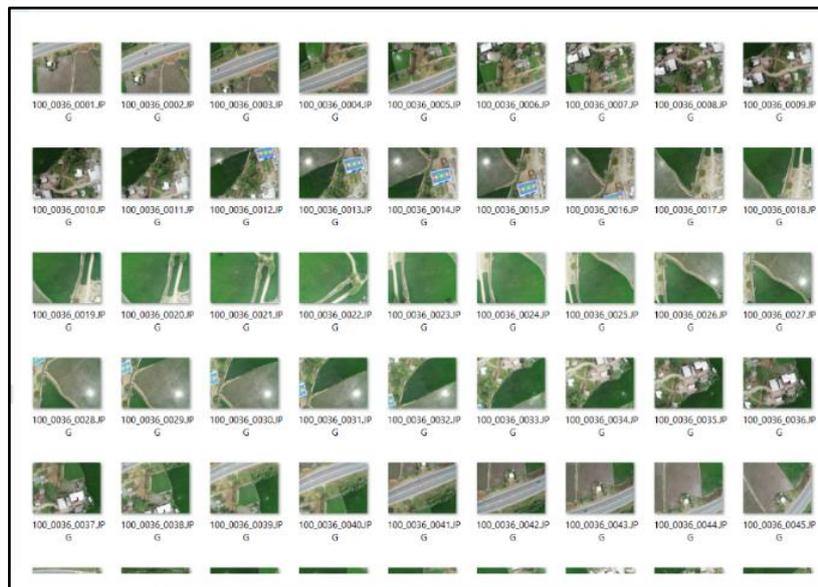


Ilustración 18. Proceso de obtención de la ortofotografía de la comunidad del Prado

CAPÍTULO III

Diseño de Sistema de Alcantarillado Sanitario

3. Criterios generales de diseño

3.1 Periodo de diseño

Se define como el periodo de diseño de una obra, al lapso de tiempo en la que ésta cumple su función de forma satisfactoria (INEN, 1997).

De acuerdo a la Secretaría Nacional del agua (SENAGUA) en su parte quinta, subtitulada disposiciones específicas considera que; los sistemas de agua potable o la disposición de residuos líquidos para las zonas rurales deberán ser propuestos bajo un periodo de diseño de 20 años.

Para la proyección del sistema de alcantarillado de la comunidad del Prado, se va considerar un periodo de diseño de 25 años, porque los caudales de diseño no presentarán cambios representativos por lo tanto se mantendrá dentro del diseño el uso de una tubería mínima de diámetro 200 mm, además de ello el costo de la obra será igual a un periodo de diseño de 20 años.

Uno de los beneficios de considerar un periodo de diseño de 25 años, es que la obra tendrá mayor durabilidad además será capaz de abastecer los requerimientos generados por un futuro crecimiento poblacional ya proyectado.

3.2 Población de diseño

Se considera población de diseño, al número de habitantes que se beneficiarán del diseño y elaboración de cualquier obra civil (Lárraga, 2016).

El Instituto Ecuatoriano de Normalización (1997) en la quinta parte del Código de Práctica Ecuatoriano (C.E.C), N° 4.2.3 menciona que, para calcular la población de diseño se debe realizar proyecciones de crecimiento, siendo una de ellas la proyección geométrica bajo la siguiente ecuación:

$$P_f = P_a \times (1 + r)^n$$

Donde:

- P_f : Población futura (habitantes)
- P_a : Población actual (habitantes)
- r : Tasa de crecimiento geométrico de la población expresada en fracción decimal
- n : Periodo de diseño (años)

La tasa de crecimiento poblacional utilizada para la proyección de la población futura de la comunidad “El Prado”, se regirá de acuerdo a la tasa de crecimiento total de la Parroquia a la cual pertenece, es decir “El Limonal”. De acuerdo al Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Rural de Limonal (PDYOT) (2015); los dos últimos censos del 2001 y 2010 señalan que existe una tendencia de crecimiento poblacional en la Parroquia; incrementando con 1.064 personas en el último periodo censal, siendo este un porcentaje de 1.44% de promedio de crecimiento anual.

Siendo 1.44% la tasa de crecimiento poblacional que se va a utilizar para proyectar la población de diseño de la comunidad “El Prado”; por lo tanto, se calculará de la siguiente forma:

Datos iniciales:

- $P_a = 374$ habitantes
- $r = 1.44\%$
- $n = 25$ años

$$P_f = P_a \times (1 + r)^n$$

$$P_f = 374 \times (1 + 0,0144)^{25}$$

$$P_f = 535 \text{ habitantes}$$

3.3 Nivel de servicio

Se considera nivel de servicio al grado de facilidad y comodidad con la que un grupo de personas o usuarios acceden a un servicio brindado, como lo son los sistemas de abastecimiento de agua, disposición de excretas o residuos líquidos (SENAGUA).

Para esto se debe analizar la forma en la que el abastecimiento de agua se realiza en la zona de estudio, así como también las necesidades de los habitantes. Se realiza la elección del nivel de servicio para este proyecto de acuerdo a las categorías que el Instituto Ecuatoriano de Normalización (1997) presenta, en la siguiente tabla:

Tabla 3. Niveles de servicio para sistemas de abastecimiento de agua, disposición de excretas y residuos líquidos.

Nivel	Sistema	Descripción
0	AP	Sistemas individuales.
	DE	Diseñar de acuerdo a las disponibilidades técnicas, usos previstos del agua, preferencias y capacidad económicas del usuario.
Ia	AP	Grifos públicos.
	DE	Letrinas sin arrastre de agua.
Ib	AP	Grifos públicos más unidades de agua para lavado de ropa y baño.
	DE	Letrinas con o sin arrastre de agua.
IIa	AP	Conexiones domiciliarias, con un grifo por casa.
	DE	Letrinas con o sin arrastre de agua.
IIb	AP	Conexiones domiciliarias, con más de un grifo por casa.
	DRL	Sistema al alcantarillo sanitario.
Simbología utilizada: AP: agua potable DE: disposiciones de excretas DRL: disposición de residuos líquidos.		

Fuente: (INEN, 1997)

Para la comunidad “El Prado” se utilizará un nivel de Servicio IIb, el cual consiste en un sistema de disposición de residuos líquidos a través de un sistema de alcantarillado sanitario.

3.4 Dotación

Se considera dotación a la cantidad de agua destinada para cada habitante, incluyendo el consumo de los servicios generados en un día medio anual, por ello la dotación se expresa bajo la unidad de $\frac{\text{litros}}{\text{hab.día}}$. (civilgeeks.com , 2010)

Para obtener la dotación del presente proyecto, se toma en cuenta la temperatura de la zona, donde la comunidad “El Prado” con una temperatura promedio anual de 26°C y un nivel de servicio tipo IIb tendrá una dotación de 100 (L/hab. día), de acuerdo al Instituto Ecuatoriano de Normalización (1997) bajo la siguiente tabla.

Tabla 4. Dotaciones de agua para los diferentes niveles de servicio

Nivel de Servicio	Clima Frío (l/hab.*día)	Clima Cálido (l/hab.*día)
Ia	25	30
Ib	50	65
IIa	60	85
IIb	75	100

Fuente: (INEN, 1997)

3.5 Factor de retorno (Cr)

El coeficiente de retorno es considerado como la relación existente entre el caudal medio generado por las aguas residuales domésticas y el caudal medio generado por el agua que consume la población. Teniendo en cuenta que del total de agua consumida sólo una parte de ella contribuye al sistema de alcantarillado y el resto es utilizado para otras actividades, el coeficiente de retorno dependerá de factores locales distintos como lo es la localización, la condición de las calles, el clima y otros factores. Por ello es recomendable utilizar del 60% al 80% de la dotación de agua potable como el coeficiente de retorno (Nogales & Quispe, 2009). Para este proyecto se utilizará un factor de retorno del 75%.

3.6 Variaciones de consumo

3.6.1 Caudal medio

El caudal medio diario como su nombre lo indica, es el consumo realizado durante las 24 horas del día, el cual se obtiene en forma de promedio de los consumos diarios realizados en un año. Este caudal es la sumatoria de los caudales: doméstico, industrial, institucional y comercial se expresa bajo la unidad de l/seg., y de acuerdo al Instituto Ecuatoriano de Normalización (1997) se expresa bajo la siguiente ecuación:

$$Q_m = Cr \times \frac{P \times D}{86400}$$

Donde:

- Q_m = Caudal Medio (l/s)

- Cr= Factor de retorno
- P= Población al final del periodo de diseño
- D = Dotación futura (l/hab. día)

3.6.2 Coeficiente de mayoración

El coeficiente de mayoración, tiene la función de compensar las descargas simultáneas que se generan en ciertas horas del día (horas pico) (Dávila, 2013).

Para calcular dicho factor, se utilizará el método de Harmon mediante la siguiente ecuación: (López R. , 2003)

$$M = \frac{18 + \sqrt{P}}{4 + \sqrt{P}}$$

- M = Coeficiente de mayoración
- P= Población expresada en miles de habitantes

3.6.3 Caudal Máximo Horario

Es el consumo máximo realizado en una hora determinada del día, observado en el periodo de un año, es calculado por la multiplicación del factor de mayoración y el caudal medio (Lárraga, 2016).

Según lo normado por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (1997) se expresa bajo la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{máx-H}} = M \times Q_m$$

Donde:

- M = Factor de mayoración.
- Q_m = Caudal medio (l/s)

3.6.4 Caudal de Infiltración

Los caudales o contribuciones indebidas dentro del sistema de alcantarillado sanitario, generalmente se deben al subsuelo ocasionados por encauces clandestinos o accidentales de aguas lluvias; a estas contribuciones se las denomina infiltraciones. Y, para determinar el caudal de infiltración generado, lo mejor es realizar aforos en el sistema en las horas en que los consumos de agua potable son mínimos.

De acuerdo a la norma INEN (1997) en su Parte Séptima titulada, Sistema de disposición de Excretas y Residuos Líquidos; para el cálculo del caudal de diseño se debe considerar el caudal de aguas de infiltración hacia los colectores, el cual según la (Guía para el Diseño Hidráulico de Redes de Alcantarillado) se calcula por la siguiente fórmula:

$$Q_{INF} = 0.2 \frac{l/s}{ha} * A_p$$

Donde:

- A_p = Área Tributaria propia del tramo en hectárea.

3.6.5 Caudal de ilícito

Dentro del alcantarillado sanitario existe la probabilidad de que ingresen aguas lluvias ilícitas o aportes errados pluviales, los mismos que provienen de conexiones mal elaboradas como lo son las bajantes de los tejados y los patios.

Por ello, este caudal debe ser considerado a fin de que no se convierta en algo representativo, de acuerdo a (López R, 2003), el caudal de conexiones ilícitas se puede adoptar un caudal entre 1 y 3 l/s*Ha. Para este proyecto se considerará un aporte de 2 l/s*ha.

3.6.6 Caudal de Diseño

Se considera el caudal de diseño, como el caudal requerido para atender la demanda al final de un periodo de diseño o de la vida útil de una obra como lo es el sistema de alcantarillado (INEN, 1997).

Para estimar el caudal de diseño se deben considerar los caudales antes mencionados:

- Caudal máximo horario
- Caudal de infiltración
- Caudal ilícito

Por ello de acuerdo (Nogales & Quispe, 2009) el caudal de diseño se expresa de la siguiente forma:

$$Q_d = Q_{m\acute{a}x-H} + Q_i + Q_e$$

Donde:

- Q_d = Caudal de diseño (l/s)
- $Q_{m\acute{a}x-H}$ = Caudal máximo horario (l/s)
- Q_i = Caudal de infiltración (l/s)
- Q_e = Caudal de conexiones erradas (l/s)
- $Q_{m\acute{a}x-H} = M \times (Q_{dom\acute{e}stico} + Q_{industrial} + Q_{comercial} + Q_{institucional})$

Para estimar el caudal de diseno de la comunidad “El Prado”, se consideró solo el aporte de aguas domésticas, esto debido al hecho, de que en el sector no hay zonas comerciales, institucionales o industriales.

3.7 Diámetro mínimo de la tubería

La Norma INEN (1997), en su Séptima Parte titulada Sistema de Disposición de Excretas y Residuos Líquidos, N 5.2.1.2 para la ubicación y configuración de red de alcantarillado recomienda utilizar como diámetro mínimo de tuberías 150 mm en zonas de topografía plana y para poblaciones menores.

3.8 Distancia máxima entre pozos

De acuerdo a la Norma INEN (1997) en su Séptima parte; N5.2.1.2 literal d, para ubicación y configuración de red de alcantarillado, decreta que la distancia máxima de entre los pozos de revisión dependerá de la tubería que los conecte. Teniendo así la siguiente tabla en función de ambos parámetros:

Tabla 5. Distancias máximas entre pozos de revisión.

Diámetro de la Tubería (mm)	Distancia Máxima entre pozos (m)
Menor a 350	100
400-800	150

Fuente: (INEN, 1997)

3.9 Conexiones domiciliarias

La Norma INEN (1992), en su Octava Parte titulada Sistema de alcantarillado, N 5.2.1.8; menciona que las conexiones intra domiciliarias se realizarán con tuberías de diámetros de 100 mm y pendientes mínimas de 1%.

Las conexiones domiciliarias requiere de una estructura llamada caja de revisión, la cual tendrá una sección interior de 0.6 x 0.6 m y se adoptará una

profundidad necesaria para cada caso. Estas cajas de revisión se instalarán en las aceras y recogerán todas las descargas intra domiciliarias a su paso y se descargarán en los pozos de revisión. El diámetro mínimo de la red terciaria es de 150 mm (INEN, 1992).

3.10 Condiciones hidráulicas

En cuanto a las condiciones hidráulicas que el sistema de alcantarillado deba tener, las normas INEN (1997) menciona en el N°5.2.1.4 titulado bajo el nombre Condiciones hidráulicas, que el escurrimiento hidráulico que conforme los colectores de la red deben evitar la sedimentación orgánica en el interior de los mismos y a su vez evitar la erosión. Por ello obligatoriamente no se debe considerar una velocidad mínima de diseño mayor a 0,45 m/s; más sin embargo la velocidad máxima dependerá del material de la tubería cumpliendo las especificaciones técnicas del fabricante.

La siguiente tabla generada por el INEN (1992), muestra las velocidades máximas para conductos a presión.

Tabla 6. Límites máximos de velocidades a tubo lleno.

Materiales de las Paredes	Velocidad Máxima m/s
Hormigón simple:	
- Con uniones de mortero.	4
- Con uniones de neopreno para nivel freático alto	3.5 - 4
Asbesto cemento	4.5 - 5
Plástico	4.5

Fuente: (INEN, 1992)

Para el presente proyecto, se considerará tubería plástica de PVC.

3.11 Coeficiente de Rugosidad

La Norma INEN (1992) registra en su numeral N° 5.2.1.11 dentro de la octava parte titulada sistemas de alcantarillado; que las velocidades máximas admisibles para tuberías y colectores dependerán de su material de fabricación. Donde tenemos la siguiente tabla de los coeficientes de rugosidad para los materiales comúnmente usados:

Tabla 7. Coeficientes de rugosidad recomendados.

Material	Coeficiente de Rugosidad
Hormigón simple:	
- Con uniones de mortero.	0.013
- Con uniones de neopreno para nivel freático alto	0.013
Asbesto cemento	0.011
Plástico	0.011

Fuente: (INEN, 1992)

3.12 Esfuerzo Cortante

Para conocer o corroborar la condición de autolimpieza que un sistema de alcantarillado presenta en comparación a sus condiciones de diseño iniciales, se necesita calcular el esfuerzo cortante del mismo, el cual de acuerdo a López (2003 cómo se cita en (Márquez, 2020)) se expresa de la siguiente manera:

$$\tau = RS\gamma$$

* Donde $\tau \geq 0,15 \text{ kg/m}^2$ siendo:

- τ = Esfuerzo Cortante N/m^2
- R = Radio hidráulico de la sección de flujo, m
- S = Pendiente del Sistema, m/m
- γ = Peso específico del agua residual, kN/m^3

CAPÍTULO IV

Dimensionamiento y Modelo

Para el dimensionamiento del sistema de alcantarillado propuesto y su modelación se utilizó una Hoja de cálculo Excel y el software SewerCad, ambas utilizadas como herramientas de diseño.

4.1 Modelación del sistema mediante la hoja de cálculo Excel.

Tabla 8. Caudal de diseño de PZN⁰¹-PTAR.

Pozo		Área tributaria			Caudal Doméstico			Caudal Máximo Horario				Caudal de Infiltración		Caudal Ílicitas		Caudal de Diseño	
De	A	Parcial ha	Total ha	% area	Densidad hab./ha	Población	l/s*ha	l/s*ha	l/s	M	l/s	l/s*ha	l/s	l/s*ha	l/s	Calculado l/s	Adoptado l/s
PZ.1	PZ.2	0,213	0,213	100	152,77	33	0,133	0,133	0,03	4,35	0,123	0,2	0,043	2,00	0,426	0,59	1,50
PZ.2	PZ.3	0,406	0,619	100	152,77	62	0,133	0,133	0,08	4,29	0,353	0,2	0,124	2,00	1,238	1,71	1,71
PZ.3	PZ.4	0,388	1,007	100	152,77	59	0,133	0,133	0,13	4,30	0,574	0,2	0,201	2,00	2,014	2,79	2,79
PZ.4	PZ.5	0,106	1,113	100	152,77	16	0,133	0,133	0,15	4,39	0,648	0,2	0,223	2,00	2,226	3,10	3,10
PZ.5	PZ.6	0,581	1,694	100	152,77	89	0,133	0,133	0,22	4,26	0,956	0,2	0,339	2,00	3,388	4,68	4,68
PZ.6	PZ.7	0,236	1,93	100	152,77	36	0,133	0,133	0,26	4,34	1,111	0,2	0,386	2,00	3,860	5,36	5,36
PZ.7	PZ.11	0,209	2,139	100	152,77	32	0,133	0,133	0,28	4,35	1,234	0,2	0,428	2,00	4,278	5,94	5,94
PZ.8	PZ.9	0,334	0,334	100	152,77	51	0,133	0,133	0,04	4,31	0,191	0,2	0,067	2,00	0,668	0,93	1,50
PZ.9	PZ.10	0,311	0,645	100	152,77	48	0,133	0,133	0,09	4,32	0,369	0,2	0,129	2,00	1,290	1,79	1,79
PZ.10	PZ.11	0,357	1,002	100	152,77	55	0,133	0,133	0,13	4,31	0,572	0,2	0,200	2,00	2,004	2,78	2,78
PZ.11	PTAR	0,346	3,50	100	152,77	53	0,133	0,133	0,46	4,31	2,000	0,2	0,700	2,00	7,000	9,70	9,70

Fuente: Autora

Tabla 9. Cálculo de caudales, velocidades, relaciones hidráulicas de tramos PZN^o1 -PTAR.

Pozo																	
Tramo		Longitud	Q diseño	Pendiente	Diámetro		Diámetro comercial		Qo	Vo	Q/Qo	V/Vo	R/Ro	d/D	H/D	V	
De	A	m	l/s	%	m	pulg	pulg	m	l/s	m/s						m/s	
PZ.1	PZ.2	18,24	1,50	1,096	0,06	2	6	0,160	22,41	1,11	0,07	0,492	0,510	0,210	0,140	0,55	
PZ.2	PZ.3	88,28	1,71	0,680	0,07	3	6	0,160	17,64	0,88	0,10	0,540	0,586	0,248	0,170	0,47	
PZ.3	PZ.4	48,11	2,79	4,781	0,06	2	6	0,160	46,79	2,33	0,06	0,473	0,481	0,196	0,128	1,10	
PZ.4	PZ.5	53,23	3,10	0,939	0,08	3	6	0,160	20,74	1,03	0,15	0,600	0,686	0,298	0,213	0,62	
PZ.5	PZ.6	57,19	4,68	1,049	0,09	4	6	0,160	21,92	1,09	0,21	0,664	0,780	0,353	0,258	0,72	
PZ.6	PZ.7	60,78	5,36	1,398	0,09	4	6	0,160	25,31	1,26	0,21	0,664	0,780	0,353	0,258	0,84	
PZ.7	PZ.11	31,09	5,94	4,021	0,08	3	6	0,160	42,91	2,13	0,14	0,590	0,668	0,289	0,205	1,26	
PZ.8	PZ.9	43,19	1,50	4,399	0,04	2	6	0,160	44,88	2,23	0,03	0,400	0,370	0,148	0,067	0,89	
PZ.9	PZ.10	51,39	1,79	0,778	0,07	3	6	0,160	18,88	0,94	0,09	0,520	0,554	0,232	0,161	0,49	
PZ.10	PZ.11	71,48	2,78	3,358	0,06	2	6	0,160	39,21	1,95	0,07	0,492	0,510	0,210	0,140	0,96	
PZ.11	PTAR	35,00	9,70	0,686	0,13	5	6	0,200	32,13	1,02	0,30	0,729	0,896	0,424	0,321	0,75	
PROMEDIO				2,11							0,13						0,79

Fuente: Autora

Tabla 10. Cálculo del pérdidas y esfuerzo cortante en tramos PZN^o1 -PTAR.

Pozo							Pérdidas				
Tramo		$v^2/2g$	R	d altura de lámina de agua	E (m)	H (m)	Esfuerzo cortante (Kg/m ²)	NF	h transición	h curv	h total
De	A	m	m	m					m	m	m
PZ.1	PZ.2	0,015	0,020	0,034	0,049	0,022	0,22	1,170	0,000	no	0,000
PZ.2	PZ.3	0,011	0,023	0,040	0,051	0,027	0,16	0,917	0,000	0,001	0,001
PZ.3	PZ.4	0,062	0,019	0,031	0,093	0,020	0,92	2,456	0,000	0,001	0,001
PZ.4	PZ.5	0,020	0,027	0,048	0,067	0,034	0,26	1,070	0,008	no	0,008
PZ.5	PZ.6	0,027	0,031	0,056	0,083	0,041	0,33	1,138	0,000	no	0,000
PZ.6	PZ.7	0,036	0,031	0,056	0,092	0,041	0,44	1,313	0,000	0,004	0,000
PZ.7	PZ.11	0,081	0,027	0,046	0,127	0,033	1,07	2,220	0,000	0,008	0,000
PZ.8	PZ.9	0,041	0,015	0,024	0,064	0,011	0,65	2,754	0,000	no	0,000
PZ.9	PZ.10	0,012	0,022	0,037	0,049	0,026	0,17	0,971	0,000	no	0,000
PZ.10	PZ.11	0,047	0,020	0,034	0,081	0,022	0,68	2,047	0,000	no	0,000
PZ.11	PTAR	0,028	0,045	0,085	0,113	0,064	0,31	0,939	0,010	no	0,010
							0,47				

Fuente: Autora

Tabla 11. Cálculo de las cotas y profundidades en tramos PZN⁰¹-PTAR

Pozo		Cota terreno		Cota clave		Cota batea		Cota de fondo		Profundidad clave		Profundidad de excavación	
Tramo		De	A	De	A	De	A	De	A	De	A	De	A
De	A	m.s.n.m.		m.s.n.m.		m.s.n.m.		m.s.n.m.		m		m	
PZ.1	PZ.2	15,35	16,00	14,60	14,40	14,43	14,23	14,41	14,21	0,75	1,60	0,94	1,79
PZ.2	PZ.3	16,00	15,90	14,40	13,80	14,23	13,63	14,21	13,61	1,60	2,10	1,79	2,29
PZ.3	PZ.4	15,90	12,25	13,80	11,50	13,63	11,33	13,61	11,31	2,10	0,75	2,29	0,94
PZ.4	PZ.5	12,25	11,75	11,50	11,00	11,33	10,83	11,31	10,81	0,75	0,75	0,94	0,94
PZ.5	PZ.6	11,75	11,60	11,00	10,40	10,83	10,23	10,81	10,21	0,75	1,20	0,94	1,39
PZ.6	PZ.7	11,60	11,40	10,40	9,55	10,23	9,38	10,21	9,36	1,20	1,85	1,39	2,04
PZ.7	PZ.11	11,40	9,00	9,55	8,30	9,38	8,13	9,36	8,11	1,85	0,70	2,04	0,89
PZ.8	PZ.9	13,75	11,85	13,00	11,10	12,83	10,93	12,81	10,91	0,75	0,75	0,94	0,94
PZ.9	PZ.10	11,85	11,50	11,10	10,70	10,93	10,53	10,91	10,51	0,75	0,80	0,94	0,99
PZ.10	PZ.11	11,50	9,00	10,70	8,30	10,53	8,13	10,51	8,11	0,80	0,70	0,99	0,89
PZ.11	PTAR	9,00	9,00	8,30	8,10	8,13	7,89	8,11	7,87	0,70	0,90	0,89	1,13

Fuente: Autora

Se observa que la hoja de cálculo de Excel posee como resultado una pendiente promedio de 2.11%, tanto la velocidad, las relaciones hidráulicas Q/Q_0 y el esfuerzo cortante cumplen con los requerimientos de la norma CPE INEN 5, con respecto al diseño, las redes del sistema de alcantarillado estarán conformada por tuberías de PVC de 160 y 200 mm, es decir, la red primaria consta de tubería de 160 mm de diámetro desde el PZN⁰¹ hasta PZN⁰⁷ y PZN⁰⁷ hasta PZN⁰¹¹ y de 200 mm desde el PZN⁰¹¹ hasta PTAR propuesta, mientras tanto, la red secundaria estará conformada por tuberías de 160 mm de diámetro. Todos los valores agregados fueron los estimados en la hoja de Excel, en la cual se logra visualizar datos confiables y esperados para el correcto análisis del diseño de un sistema de alcantarillado sanitario.

4.2 Modelación del sistema mediante SewerCad.

Dentro del software SewerCad se ingresaron los criterios de diseño, como lo son la velocidad mínima de diseño, pendiente, esfuerzo cortante, el tipo de material del sistema de alcantarillado, la forma de su sección transversal, etc.

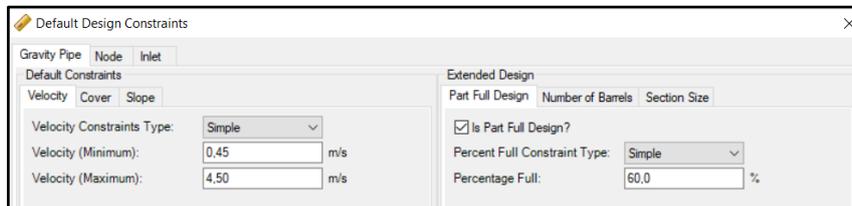


Ilustración 14. Datos de diseño del Software SewerCad.

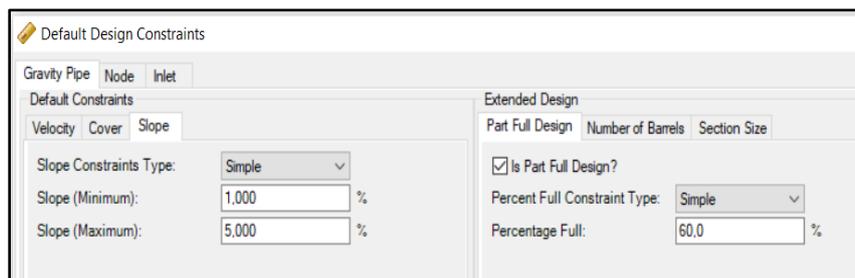


Ilustración 15. Datos de ingreso de diseño, pendientes mínimas y máximas

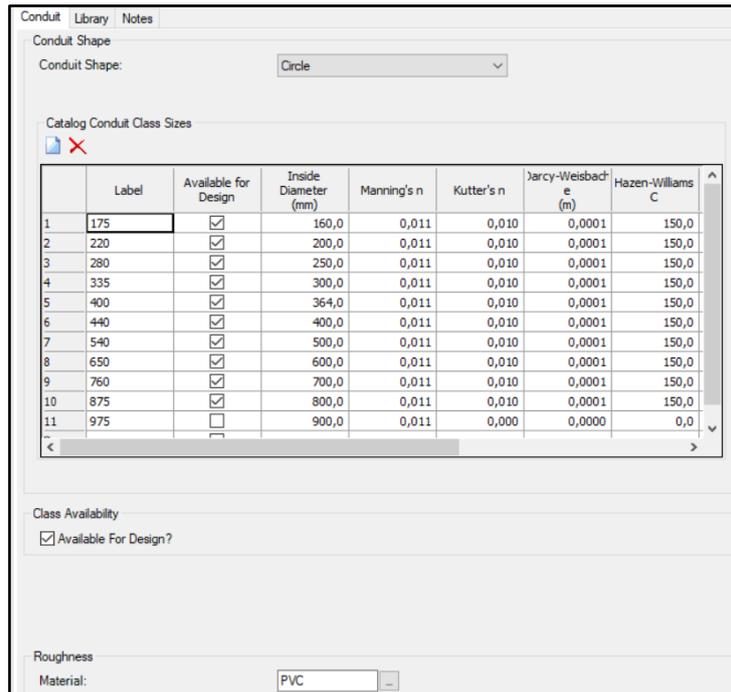


Ilustración 16. Catálogo de tuberías comerciales que se consideraron para el diseño

4.3 Resultados según la hoja de cálculo Excel y el Software SewerCad

En base a los datos de diseño y a los trazados de las redes de alcarillado propuesta, se ingresaron al Software SewerCad y se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 12. Resultado obtenido de la hoja de Cálculo de Excel.

Pozo						
Tramo		Diámetro (mm)	Pendiente (m/m)	Velocidad (m/s)	Q/Qo	Esfuerzo cortante (Kg/m ²)
De	A					
PZ.1	PZ.2	160	1,00	0,61	0,15	0,18
PZ.2	PZ.3	160	1,00	0,76	0,23	0,24
PZ.3	PZ.4	160	4,23	1,53	0,18	0,99
PZ.4	PZ.5	160	1,00	1,02	0,31	0,38
PZ.5	PZ.6	160	1,00	1,13	0,29	0,44
PZ.6	PZ.7	160	1,04	1,25	0,33	0,51
PZ.7	PZ.11	200	5,00	2,39	0,21	2,01
PZ.8	PZ.9	160	4,40	1,03	0,12	0,55
PZ.9	PZ.10	160	1,00	0,77	0,60	0,25
PZ.10	PZ.11	160	3,74	1,47	0,22	0,90
PZ.11	PTAR	200	5,00	2,72	0,58	2,44
Promedio			2,58	1,33	0,29	0,81

Fuente: Autora

Se observa que la hoja de cálculo otorgada por el software SewerCad presenta una pendiente promedio de 2.58%, tanto la velocidad, las relaciones hidráulicas Q/Q_0 y el esfuerzo cortante cumplen con los requerimientos de la norma CPE INEN 5, con respecto al diseño, la red del sistema de alcantarillado estará conformada por tuberías de diámetro de 160 mm a 200 mm, es decir la red primaria estará compuesta por tubería de 160 mm (PZN^o1 hasta PZN^o7), excepto los dos últimos tramos que va con tubería de 200 mm (PZN^o7 hasta PZN^o11 y PZN^o11 a PTAR propuesta). Mientras la red secundaria por tuberías de 160 mm (PZN^o8 hasta PZN^o11), todos los valores agregados obtenidos por el software evidencian que los datos mediante esta forma de cálculo difieren del caso anterior, pero siguen siendo viables para el correcto análisis del diseño de un sistema de alcantarillado sanitario.

Al realizar la comparación de los resultados de las distintas metodologías como lo son la Hoja de cálculo en Excel y el software SewerCad utilizado comúnmente para el diseño de las redes de alcantarillado, podemos decir que los parámetros de diseño de un sistema sanitario de alcantarillado por ambos métodos no difieren en su totalidad, por el contrario, sus valores se asemejan debido a que ambos utilizan datos de ingreso reales, como los topográficos tomados en el área de estudio.

Por lo tanto, se adopta el diseño de las redes de alcantarillado sanitario obtenido de la hoja de cálculo Excel porque las pendientes de las tuberías son menores a los de SewerCad, de esta manera, el presupuesto de la obra será menor porque no se necesitará realizar excavaciones y rellenos profundos. Además, se ajusta a la parte económica de la zona de estudio.

CAPÍTULO V

Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para la comunidad “El Prado”.

5.1 Características de las aguas residuales del cantón Daule

La caracterización física-química y microbiológica de las aguas del Cantón Daule se obtuvo a través de una serie de estudios realizados por la entidad Emapa-Ep Daule el día 13 de febrero del presente año, la muestra de estudio se tomó del afluente perteneciente a la planta de tratamiento que la entidad posee; del estudio realizado se obtuvieron los siguientes resultados:

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO			
Parámetros	Expresado como	Unidad	Resultado Afluente (Entrada)
Demanda Bioquímica de Oxígeno	D.B.O5	mg/l	236.4
Demanda Química de oxígeno	D.Q.O	mg/l	400.82
Fósforo total	P	mg/l	3.85
Nitrógeno total	N	mg/l	25
Oxígeno disuelto	O ₂	mg/l	1.05
Potencial de Hidrógeno	pH	-	7.07
Sólidos suspendidos totales	SST	mg/l	113
Temperatura	°C	-	29.9
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO			
Coliforme fecales	nmp/100 ml	-	30000

Ilustración 17. Caracterización de las aguas residuales del Cantón Daule.

Fuente: Reporte de calidad de agua residual por parte de Emapa-Ep Daule, (2021)

La comunidad “El Prado” por el momento no cuenta con un reporte de calidad de aguas residuales, del cual, se pueda obtener su caracterización propia; es por esta razón que se tomarán los valores obtenidos de cada parámetro de estudio, realizado por la entidad Emapa-Ep Daule a las aguas residuales del Cantón Daule, todo ello, con la finalidad de seleccionar y dimensionar el tipo de tratamiento adecuado para la comunidad, tratamiento que pueda ser económico y práctico, sin comprometer la eficiencia del mismo a la hora de tratar las aguas residuales que se presentan en la comunidad.

5.2 Criterios para la localización y disponibilidad del terreno para la construcción de la planta de tratamiento

Para poder seleccionar el terreno en el cual se construirá o ubicará una planta de tratamiento, se deben considerar de manera prudencial, de acuerdo a Cortés, Treviño, & Tomasini (2017), los siguientes puntos:

- ✓ Deberá ubicarse en un terreno espacioso de bajo costo.
- ✓ Es preferible ubicar la planta de tratamiento en un terreno próximo a cuerpos receptores, en los cuales se pueda proyectar la reutilización del agua tratada.
- ✓ Una de las cosas más importantes a la hora de localizar la planta de tratamiento es que el terreno sea ubicado de acuerdo a su topografía, lo que ahorrará la utilización de sistemas de bombeo, en conjunto con los gastos de operación y mantenimiento que generalmente requieren.
- ✓ Se deberá ubicar el terreno en las áreas más bajas, en el cual, su punto de referencia será el sistema de alcantarillado y drenaje, de la comunidad o el lugar de estudio. Lo que permitirá que el gasto fluya por gravedad hasta el terreno en el que se ubica la planta de tratamiento.
- ✓ El terreno deberá presentar pendientes suaves, minimizando así costos de movimientos de tierra y construcción.
- ✓ El terreno debe ubicarse lejos de áreas que puedan presentar futuros crecimientos poblacionales.

5.3 Ubicación de la planta de tratamiento

La planta de tratamiento usada como referencia en el presente proyecto, se ubicada a 35 metros de la comunidad “El Prado”, distancia poco prudente para su instalación, y debido a esto, se presentan afectaciones en la población, generadas por los gases y malos olores provenientes de las aguas residuales. A continuación, se muestran las coordenadas UTM de la planta de tratamiento de aguas residuales propuesta, en la comunidad.

Coordenadas UTM

Tabla 13. *Coordenadas UTM de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad “El Prado”*

Extensión (Zona 17M)	Norte (m)	Este (m)
Zona no habitada	9799781	613250

Fuente: Información tomada de Google Earth y adaptada por Josselyn Cujilema



Ilustración 18. Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad "El Prado".

Fuente: Google Earth (2021)

5.4 Normas para caracterización de las aguas residuales

Para determinar la calidad del efluente que será descargado hacia los canales de riego de la comunidad "El Prado", se tomarán como referencia los valores requeridos por la Norma de calidad Ambiental y Descarga de Efluentes Ecuatoriana, la cual se sustenta sobre el Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA) Libro VI-Anexo 1:

- ✓ Sección 4.2.3: Normas de descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor: Agua dulce y agua marina, la cual se observa en la tabla 52.
- ✓ Sección 4.1.4. Criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego, dónde solo se considerará como único parámetro Coliformes fecales que debe ser menor e igual a 1000 nmp/100 ml:

Tabla 14. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Coliformes Fecales	nmp/100 ml	-	⁸ Remoción > al 99,9 %
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O5.	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Fósforo Total	P	mg/l	10
Nitrógeno Total	N	mg/l	15
Potencial de hidrógeno	pH	-	5-9
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	100
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Temperatura	°C	-	< 35

⁸Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3 000, quedan exentos de tratamiento

Fuente: (Asamblea Nacional, 2015) modificada por Josselyn Cujilema (2021).

5.5 Diseño de planta de tratamiento

5.5.1 Pretratamiento

El Pretratamiento se caracteriza por ser aquella etapa inicial, en la cual comienza la purificación del agua, generalmente se realiza en momentos iniciales previos a la ejecución de los procesos que se realizan, dentro de la estación depuradora. Este proceso tiene como objetivo segregar sólidos de gran y mediano tamaño, presentes en las aguas residuales como lo son, bolsas de basura, palos, plásticos etc., todo este proceso se ejecuta por medio de diversas tramas de enrejado que tamizan el flujo de ingreso, a la planta depuradora (Tratamiento de aguas residuales, 2019).

5.5.1.1 Canal de Entrada

Se define como canal de entrada o de acceso, a la estructura sobre la cual realizará la descarga, la tubería del colector de conducción que se ubica en la planta. Por ello se propone un canal de entrada abierto con sección geométrica rectangular; la longitud del mismo no necesariamente se debe calcular como tal, más bien debe ser del tamaño apropiado para receptor la cantidad de basura que se aglomere en las rejillas.

Parámetros para el diseño de un canal rectangular

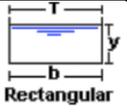
- ✓ Rugosidad: se utilizará $n=0.013$ para canales revestidos de concreto.
- ✓ Ancho de solera: se usará un valor mínimo de 0.35 m.
- ✓ Pendiente: se adoptará una inclinación de 0.6%
- ✓ El borde libre: se asumirá un borde libre de 22 cm.
- ✓ Velocidad: se utilizará la ecuación de Manning para poder calcularla.

$$Q = \frac{R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} A}{n}$$

Donde:

- Q: Caudal de diseño m^3/s
- S: Pendiente del fondo del canal, en m/m
- n: Coeficiente de rugosidad
- A: Área del canal (m^2)
- R: Radio hidráulico = Área de la sección húmeda/Perímetro húmedo (m)
- ✓ Relaciones Geométricas del canal rectangular

Tabla 42. Relaciones Geométricas de las secciones transversales rectangulares.

Sección	Área Hidráulica A	Perímetro Mojado P	Radio Hidráulico R	Espejo de agua T
 Rectangular	by	$b+2y$	$\frac{by}{b + 2y}$	b

Fuente: (Hidraulica, 2012)

Diseño de un canal rectangular

Para el diseño del canal rectangular se va a considerar los siguientes los datos de la Tabla 16.

Tabla 16. Datos de diseño del Canal de Entrada.

DISEÑO DEL CANAL RECTANGULAR		
Caudal:	9,7	l/s
	0,0097	m^3/s
Ancho del canal, B:	0,35	m
Rugosidad de maning, n:	0,013	-
Pendiente:	0,6	%
Velocidad de acercamiento en la rejilla, Vb:	0,6	m/s

Fuente: Autora

✓ Área del canal en la zona de la rejilla

$$A_{\text{canal}} = \frac{Q_d}{V_b}$$

Donde:

- A_{libre} : Área libre al paso del agua, m^2 .
- Q_d : Caudal de diseño, m^3/s
- V_b : velocidad de la barra, m/s .

$$A_{\text{libre}} = \frac{0,0097}{0,6}$$

$$\mathbf{A_{\text{libre}} = 0,016 \text{ m}^2}$$

✓ Altura de la lámina de agua en el canal

$$h = \frac{A_{\text{libre}}}{b}$$

Donde:

- h : altura de la lámina de agua en el canal, m
- A_{libre} = Área libre al paso del agua, m^2
- b = ancho del canal, m

$$h = \frac{0,016}{0,35}$$

$$\mathbf{h = 0,046 \text{ m}}$$

✓ Borde libre del canal

$$\text{Borde libre} = \mathbf{0.204 \text{ cm}}$$

✓ Altura total del canal

$$H_c = h + \text{borde libre}$$

$$H_c = 0,046 + 0,204$$

$$\mathbf{H_c = 0,25 \text{ m}}$$

✓ Perímetro mojado del canal

$$P = b + 2y$$

$$P = 0,35 + (2 \times 0,046)$$

$$\mathbf{P = 0,44 \text{ m}}$$

✓ Radio Hidráulico del canal

$$R = \frac{by}{b + 2y}$$

$$R = \frac{0,016}{0,44}$$

$$R = 0,04 \text{ m}$$

✓ Velocidad del canal

$$V = \frac{R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}}{n}$$

$$V = \frac{(0,04)^{\frac{2}{3}} (0,006)^{\frac{1}{2}}}{0,013}$$

$$V = 0.70 \text{ m/s}$$

✓ Resumen del diseño del canal de entrada

Tabla 17. Resumen del diseño del canal de entrada.

DISEÑO DEL CANAL RECTANGULAR		
Caudal:	9,7	l/s
	0,0097	m ³ /s
Ancho del canal, B:	0,35	m
Rugosidad de maning, n:	0,013	-
Pendiente:	0,6	%
Velocidad de acercamiento en la rejilla, Vb:	0,6	m/s
Dimensiones		
Borde libre	0,204	m
Ancho del canal, B:	0,35	m
Altura de la lámina de agua, y:	0,05	m
Altura del canal	0,25	m
Perímetro mojado	0,44	m
Radio Hidráulico, R:	0,04	m
Velocidad del canal, V:	0,70	m/s

Fuente: Autora

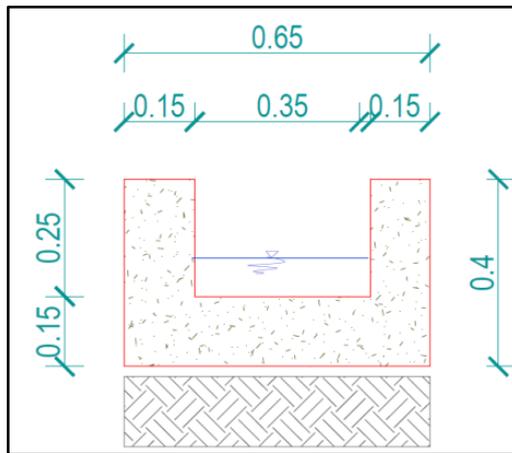


Ilustración 19. Sección Transversal del canal de entrada.

5.5.1.2 Cribado

El cribado es aquella operación que se realiza con la finalidad de segregar el material grueso presente en el agua residual, a través del paso de la misma por medio de cribas o rejillas. En cuanto a la criba utilizada en el Pretratamiento, puede ser de cualquier tipo de material agujerado de forma ordenada; ya sea una plancha, una lámina mecánica, de madera o concreto; con agujeros redondos, cuadrados o cualquier forma geométrica. Las cribas se clasifican también por el método de limpieza que las caracterizará, por ejemplo, pueden ser de limpieza manual o mecánica y se clasifican de acuerdo al tamaño de su abertura en rejillas finas o gruesas. Las rejillas gruesas son aquellas que cuentan con aberturas iguales o mayores de 0,64 cm (1/4 plg), siendo las finas aquellas que presenten aberturas menores de 0,64 cm (Romero, 2004).

Tabla 54. Características de rejillas de barras

Características	De limpieza manual
Ancho de Barra	0,5 – 1,5 cm
Profundidad de las barras	2,5 – 7,5 cm
Abertura o espaciamiento	2,5 – 5,0 cm
Pendiente con la vertical	30° - 45°
Velocidad de acercamiento	0,3 – 0,6 m/s
Perdida de energía permisible	15 cm

Fuente: (Romero, 2004).

✓ Pérdida en Rejillas.

La pérdida de energía que se presenta a través de las rejillas o cribas, se encuentra en función de la forma que caracteriza a la criba seleccionada y la

altura o la energía de velocidad que el flujo de agua presenta a través de las barras. A su vez, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$H = \beta \left(\frac{w}{b} \right)^{\frac{4}{3}} h_v \text{ sen } \theta$$

Donde:

- H: pérdida de energía (m)
- β : factor de forma de las barras
- β : 2,42 para barras rectangulares de caras rectas
- β : 1,67 para barras rectangulares con cara semicircular aguas arriba y abajo
- β : 1,83 para barras rectangulares con cara semicircular aguas arriba
- β : 1,79 para barras circulares
- w: ancho máximo de la sección transversal de las barras, en la dirección de flujo (m)
- b: espaciamiento o separación mínima entre las barras (m)
- h_v : altura o energía de velocidad del flujo de aproximación (m)
- θ : ángulo de la rejilla con la horizontal

Para el diseño de la rejilla, se va a considerar los datos de diseño, mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 55. Datos iniciales para el diseño de rejillas

DATOS PARA EL DISEÑO		
Caudal de diseño:	0,0097	m ³ /s
Ancho del canal, b:	0,35	m
Velocidad de acercamiento, V _b :	0,60	m/s
Tipo de limpieza:	Manual	
Ancho de las barras, s:	1,50	cm
Pendiente con la vertical:	45,00	grados
Separación entre barras, e:	2,50	cm
Forma de la barra	circular	

Fuente: Autora

✓ Longitud de la rejilla

$$L_b = \frac{H_c}{\text{sen } \theta}$$

$$L_b = \frac{0,26}{\text{sen } 45^\circ}$$

$$L_b = \mathbf{0,37 \text{ m}}$$

✓ Número de barras

$$2n + (n - 1)2,5 = b$$

Dónde:

- n = número de barras
- b = ancho del canal, cm.

$$n = \frac{35 + 2,5}{4,5}$$

$$n = \mathbf{8,33 \text{ barras} \approx 9 \text{ barras}}$$

✓ Pérdida en rejillas

$$H = \beta \left(\frac{w}{b} \right)^{\frac{4}{3}} h_v \text{ sen } \theta$$

$$H = 1,79 \left(\frac{1,5}{2,5} \right)^{\frac{4}{3}} \left(\frac{0,6^2}{2 \times 9,81} \right) \text{ sen } 45^\circ$$

$$H = \mathbf{0,012 \text{ m}}$$

En la práctica se adopta una pérdida de 15 cm.

A continuación, se muestra la Tabla 20 que contiene un resumen de los datos de diseño, de la rejilla propuesta.

Tabla 20. Resumen del diseño de la rejilla.

DISEÑO DE REJILLAS		
Área libre al paso del agua	0,016	m ²
Energía de velocidad (hv)	0,02	m
Pérdida de energía (H)	0,012	m
Ancho del canal	0,35	m
Altura de lamina de agua	0,05	m
Altura total del canal	0,26	m
Longitud de la rejilla	0,368	m
Número de barras	8,33	u
Usar número de barras:	9,00	u

Fuente: Autora

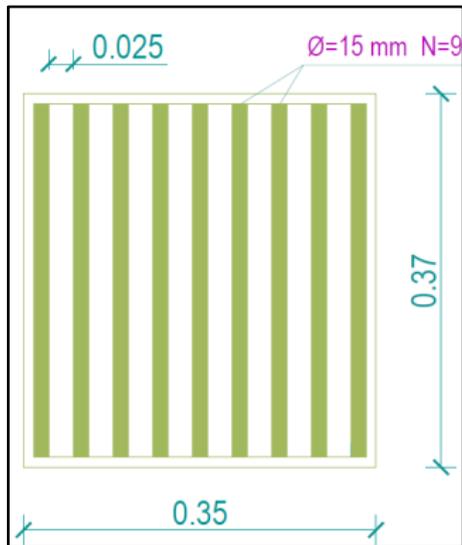


Ilustración 20. Detalle de la rejilla.

5.5.2 Tratamiento Primario

Dentro de los tratamientos por los cuales las aguas residuales pueden ser tratadas, el tratamiento primario, es uno de los más sencillos a la hora de realizar su depuración. Tiene como finalidad remover de forma parcial o total los sólidos suspendidos, la materia orgánica o los organismos patógenos presentes en las aguas residuales, todo esto, mediante procesos de sedimentación gravitatoria o precipitación (Yáñez, 2018).

Entre las principales unidades operativas que, dentro de un tratamiento primario, se utilizan, tenemos:

- ✓ Tanques de Sedimentación
- ✓ Tanques de flotación
- ✓ Tanques Sépticos
- ✓ Tanques Imhoff
- ✓ Filtros anaeróbicos
- ✓ Tamices

5.5.2.1 Tanque Séptico.

Esta unidad operativa se caracteriza, por el hecho de que, procesos como la sedimentación y la digestión, se ejecutan dentro de su propio tanque, lo que minimiza problemas como la construcción y la excavación profunda, como los requeridos por los tanques Imhoff. Su sistema se conforma por el compartimiento de uno o varios tanques en serie, utilizados para la sedimentación de sólidos. Generalmente cumplen la función principal de acondicionar las aguas residuales para su posterior disposición subsuperficial, en zonas carentes de sistemas de

alcantarillado sanitario. De acuerdo a Romero (2004), los tanques sépticos sirven para:

- ✓ Erradicar sólidos suspendidos y la materia flotante.
- ✓ Ejecutar tratamientos anaerobios de lodos sedimentados.
- ✓ Recolectar lodos y material flotante presente en las aguas residuales tratadas.

Un Tanque Séptico es capaz de remover el 30% al 50% de DBO, un 70% a 80% de grasas y aceites, un 15% de fósforo y un 50% a 70% de Sólidos Suspendidos; en aguas domésticas típicas (Romero, 2004).

5.5.2.1.1 Localización de un Tanque Séptico.

Para la correcta localización de un Tanque Séptico, de acuerdo a Romero (2004) se deben considerar los siguientes criterios:

1. Debe localizarse a una distancia mayor a 15 m de cualquier fuente de abastecimiento, con el propósito de proteger las mismas.
2. El tanque Séptico deberá encontrarse a más de 2 m de distancia, de cualquier fuente de abastecimiento.
3. Se deberá localizar en zonas poco expuestas a inundación, además de ello, debe contar con un espacio amplio, con el propósito de implementar un sistema de disposición, o en todo caso, ubicar un tratamiento alterno posterior.
4. Debe contar con un acceso apropiado para poder ejecutar su limpieza y mantenimiento, de manera fácil y rápida.

5.5.2.1.2 Ventajas y Desventajas del Tanque Séptico.

Ventajas

- ✓ Resulta apropiada su utilización, en comunidades rurales, edificaciones, condominios, hospitales, etc.
- ✓ No requiere una limpieza frecuente.
- ✓ Genera costos bajos, tanto para su construcción como para su operación.
- ✓ Presenta un grado relativamente bajo de dificultad en cuanto a su operación y mantenimiento, todo ello, en caso de que se cuente con una infraestructura propia encargada de la remoción de lodos.

Desventajas

- ✓ Su uso es limitado, generalmente para un máximo de 350 habitantes.
- ✓ Se limita su uso, de acuerdo a la capacidad de infiltración del lugar en el

cual se implementará, siendo ésta, aquella que permite disponer los efluentes en el suelo de forma adecuada.

- ✓ Amerita diversas facilidades para ejecutar la remoción de lodos, como lo son las bombas, camiones de bombas de vacío, etc.

5.5.2.1.3 Principios de diseño de un Tanque Séptico.

Entre los principios por los cuales se debe orientar el diseño de un tanque séptico, se tienen:

- ✓ Prevenir tiempos de retención de aguas residuales, dentro del tanque séptico, suficientes para que, la segregación de sólidos y la estabilización de líquidos se realice de manera óptima.
- ✓ Advertir condiciones adecuadas para que la estabilidad hidráulica dentro del sistema, permita la sedimentación y la flotación de sólidos.
- ✓ Cerciorar que el tamaño del tanque sea lo bastante grande, para que se realice la acumulación de lodos y espuma.
- ✓ Prevenir diversas obstrucciones que puedan presentarse en el tanque séptico, y asegurar que la ventilación de los gases generados, sea la apropiada.

5.5.2.1.4 Dimensiones internas del Tanque Séptico.

Las dimensiones internas de un tanque séptico rectangular, se rigen de acuerdo a la Norma S090 y la Unidad de Apoyo Técnico para el saneamiento Básico del Área Rural (2005); y éstas son:

- a) Se deberá contar con un espacio libre de 300 mm, entre el nivel superior de natas y la superficie inferior de la losa de cubierta, siendo éste un valor mínimo.
- b) El ancho mínimo del tanque, deberá ser aproximadamente de 0,60 m, siendo éste el espacio considerado para que una persona pueda realizar su trabajo cómodamente, tanto en la construcción como en la operación de limpieza.
- c) La profundidad neta deberá ser mayor o igual a 0,75 m.
- d) La relación largo y ancho deberá ser 2:1 como mínimo.
- e) Se recomienda que la profundidad no supere la longitud total del tanque.

- f) El diámetro mínimo contemplado para las tuberías de entrada y salida será de 100 mm (4").
- g) El nivel de tubería de salida se debe situar a 0,05m por debajo de la tubería de entrada.
- h) Los dispositivos de entrada y salida de las aguas residuales direccionadas al tanque séptico deben estar conformados por Tees o pantallas.
- i) Se deberá situar la pantalla a una distancia no menor a 0,20 m ni mayor a 0,30 m, de las paredes del tanque séptico.
- j) La prolongación de los ramales de fondo de las Tees o las pantallas de entrada o salida utilizadas, deberán calcularse con la fórmula $(0,47/A+0,10)$.
- k) Es recomendable que la parte superior de los dispositivos de entrada y salida, presenten una luz libre para su ventilación, siendo ésta, una abertura que no exceda los 0,05 m por debajo de la losa de techo, del tanque séptico.
- l) En caso de haber más de un compartimiento en el tanque séptico, las interconexiones utilizadas que se utilicen para los compartimientos consecutivos se deben ejecutar de tal forma, que eviten el paso de natas y lodos entre sí.
- m) Si el tanque presenta un ancho W , la longitud del primer compartimiento debe ser el doble del mismo, es decir, $2W$ y el segundo compartimiento deberá presentar un ancho W .
- n) La pendiente de fondo del tanque debe ser de 2%, siendo orientada hacia el punto en el que las aguas residuales, ingresen.
- o) En cuanto al techo del tanque séptico, deberá estar dotado de losas removibles y un diámetro de 150 mm, para el registro de inspección.

5.5.2.1.5 Pasos para el diseño del Tanque Séptico.

- ✓ Paso 1.- Periodo de retención hidráulica (Pr, en días)

$$PR = 1.5 - 0,3 \log(P * Q)$$

Donde:

- PR = Periodo de retención hidráulica en días
- P = Población servida.
- Q =Caudal de aporte unitario de aguas residuales, litros/(habitante*día).

Se debe tener en cuenta que, el periodo de retención mínimo en tanques sépticos es de 6 días.

- ✓ Paso 2.- Volumen requerido para la sedimentación (Vs, en m³)

$$V_s = 10^{-3} * (P * Q) * PR$$

- ✓ Paso 3.- Volumen de digestión y almacenamiento de lodos (Vd, en m³)

$$V_s = 70 * 10^{-3} * P * N$$

Donde:

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

- ✓ Paso 4.- Volumen de lodos producidos.

Se tienen en cuenta que la cantidad de los lodos producidos por habitante y por año, dependerá de la temperatura ambiente de la zona en la que se implementará el tanque séptico, además de ello depende de la descarga de residuos de la cocina, entre los valores que se consideran están:

Tabla 72. Cantidades de lodos producidos de acuerdo a la temperatura.

Clima Cálido	40 L/hab*año
Clima Frío	50 L/hab*año

Fuente: (OPS/CEPIS/05.163 & UNATSABAR, 2005)

En caso de que se descarguen aguas residuales, provenientes de lavaderos u otros aparatos de carácter sanitario instalados en restaurantes o

parecidos, los cuales generan cantidades significativas de grasa que posteriormente afecten el funcionamiento del sistema propio de evacuación de aguas residuales; se deberá adicionar a los valores antes presentados, un valor de 20 L/hab*año.

✓ Paso 5.- Volumen de natas.

Se considerará un volumen mínimo de 0,7 m³.

✓ Paso 6.- Profundidad máxima de espuma sumergida (He, en m)

$$He = \frac{0,7}{A}$$

Donde:

- A: área superficial del tanque séptico en m².

✓ Paso 7.- Profundidad libre de espuma sumergida

Este valor será igual a la distancia comprendida entre la superficie inferior de la capa de espuma y el nivel inferior de la Tee como dispositivo de salida o propiamente de la cortina deflectora, del tanque séptico. Su valor mínimo es de 0,10 m.

✓ Paso 8.- Profundidad libre de lodo (Ho, en m)

$$Ho = 0,82 - 0,26 * A$$

✓ Paso 9.- Profundidad mínima requerida para la sedimentación (Hs, en m)

$$Hs = \frac{Vs}{A}$$

✓ Paso 10.- Profundidad de espacio libre (Hl, en m)

Este parámetro comprende la superficie libre de espuma sumergida, en conjunto con la profundidad de lodos. Se selecciona el mayor valor, comparando la profundidad que se tiene del espacio libre mínimo total (0,1+Ho) con la profundidad mínima empleada para la sedimentación (Hs).

✓ Paso 11.- Profundidad neta del tanque séptico.

La profundidad neta del tanque séptico comprende la suma de las profundidades de nata, sedimentación, almacenamiento de lodos y la profundidad libre de natas sumergidas.

5.5.2.1.6 Diseño del Tanque Séptico.

La comunidad "El Prado" cuenta con una población futura de 535 habitantes. Por lo tanto, se va construir dos tanques sépticos que tendrán las mismas dimensiones. A continuación, se muestra el diseño del tanque séptico:

Tabla 73. Datos para el diseño del Tanque Séptico.

DATOS PARA EL DISEÑO		
Habitantes	268	hab
Dotación	100	litros/hab.*día
Factor de retorno	0,75	

✓ Paso 1.- Periodo de retención hidráulica.

$$\begin{aligned}PR &= 1.5 - 0,3 \log(P \times Q) \\PR &= 1.5 - 0,3 \log(268 \times 0,75 \times 100) \\PR &= 0,21 \text{ días} \\PR &= \mathbf{5,02 \text{ horas} < 6 \text{ horas}}\end{aligned}$$

De acuerdo al cálculo, se adopta un periodo de retención mínima:

$$PR = 6 \text{ horas, equivalentes a } 0,25 \text{ días.}$$

✓ Paso 2.- Volumen requerido para la sedimentación.

$$\begin{aligned}V_s &= 10^{-03} \times (P \times Q) \times PR \\V_s &= 10^{-03} \times (268 \times 0,75 * 100) \times 0,25 \\V_s &= \mathbf{5,03 \text{ m}^3}\end{aligned}$$

✓ Paso 3.- Volumen de digestión y almacenamiento de lodos.

Se considera 1 año de intervalo de limpieza y una cantidad de lodo de 40 l/hab.*año, para el diseño de tanque séptico de la primera etapa.

$$\begin{aligned}V_d &= G \times 10^{-03} \times P \times N \\V_d &= 40 \times 10^{-03} \times 268 \times 1 \\V_d &= \mathbf{10,72 \text{ m}^3}\end{aligned}$$

✓ Paso 4.- Volumen de natas.

Se considera un volumen de natas mínimo, del $\mathbf{0,70 \text{ m}^3}$

✓ Paso 5.- Área del Tanque Séptico.

Se considera un ancho de 2,5 m, espacio suficiente para que una persona pueda trabajar de manera eficaz durante la construcción o al realizar las operaciones de limpieza del tanque séptico. Además, la relación largo y ancho a utilizar es de 2:1.

Ancho

$$B = 2,00 \text{ m}$$

Largo

$$\frac{L}{B} = \frac{3}{1}$$

$$L = 3 * 2,00$$

$$L = 6,00 \text{ m}$$

Área

$$A = B \times L$$

$$A = 2,00 \times 6,00$$

$$A = 12,00 \text{ m}^2$$

✓ Paso 6.- Profundidad máxima de espuma sumergida.

$$H_e = \frac{0,7}{A}$$

$$H_e = \frac{0,7}{12,00}$$

$$H_e = 0,06 \text{ m}$$

✓ Paso 7.- Profundidad libre de espuma sumergida.

La profundidad libre mínima de espuma sumergida considerada para el diseño será de 0,10 m.

✓ Paso 8.- Profundidad mínima requerida para la sedimentación.

$$H_s = \frac{V_s}{A}$$

$$H_s = \frac{5,03}{12,00}$$

$$H_s = 0,42 \text{ m} \approx 0,45 \text{ m}$$

- ✓ Paso 9.- Profundidad de digestión y almacenamiento de lodos.

$$H_d = \frac{V_s}{A}$$

$$H_d = \frac{10,72}{12,00}$$

$$H_d = \mathbf{0,90\ m}$$

- ✓ Paso 10.- Profundidad neta del tanque séptico.

Se utilizará un borde libre de 0,30 m.

$$H_{total} = H_d + H_s + H_e + \text{Borde libre}$$

$$H_{total} = 0,90 + 0,45 + 0,06 + 0,30$$

$$H_{total} = \mathbf{1.70\ m}$$

- ✓ Paso 11.- Concentración de los contaminantes en el efluente

La tabla 23, se considera el promedio de las eficiencias de remoción de los contaminantes de las aguas residuales, presentes en el efluente del tanque séptico; de acuerdo a distintos autores.

Tabla 23.. Porcentaje de eficiencia considerada para la remoción de los contaminantes de las aguas residuales en el tanque séptico por varios autores.

Parámetros	Eficiencia de Remoción de Los Contaminantes de Aguas Residuales En Porcentajes, %.		
	Romero Rojas, 1999	Seabloom, 1982; Bitton, 2005	RAS, 2000
Demanda Bioquímica de Oxígeno, D.B.O5	40	57	50
Sólidos suspendidos totales, SST:	60	55	60
Fósforo, P:	15	42	-
Coliformes fecales	-	45	20

Fuente: Autora

Debido a los valores presentados de los parámetros para la remoción de los contaminantes de las aguas residuales en el tanque séptico por varios autores, su porcentajes promedios, se comienza con el análisis y cálculo de las concentraciones presentes en las aguas residuales, donde se obtiene:

Tabla 24. Concentración de los contaminantes en el efluente del tanque séptico.

Parámetros	Concentración de los contaminantes de las aguas residuales			
	Afluente	Efluente (mg/l)		
		Romero Rojas, 1999	Seabloom, 1982 & Bitton, 2005	RAS, 2000
Demanda Bioquímica de Oxígeno, D.B.O5 (mg/l)	236,40	141,84	101,65	118,20
Sólidos suspendidos totales, SST, (mg/l):	113,00	45,20	50,85	45,20
Fósforo, P, (mg/l):	3,85	3,27	2,23	-
Coliformes fecales (nmp/100 ml):	30000,00	-	16500,00	24000,00

Fuente: Autora

De acuerdo a esto, se considerarán las mayores concentraciones obtenidas de los contaminantes del efluente de cada tanque séptico, antes mostradas. Las concentraciones de los contaminantes son:

- ✓ D.B. O₅ es de 141.84 mg/l
- ✓ Sólidos suspendidos totales de 50,85 mg/l
- ✓ Fósforo de 3, 27 mg/l
- ✓ Coliformes fecales de 24000,00 nmp/100 ml

A continuación, se muestra el resumen del tanque séptico de la primera etapa.

Tabla 25. Resumen del diseño del tanque séptico.

DISEÑO DEL TANQUE SÉPTICO		
Ancho	2.00	m
Largo	6.00	m
Área	12.00	m ²
Volumen	20.40	m ³
Volumen de sedimentación, V _s :	5.03	m ³
Volumen de alimentación de lodo, V _d :	10.72	m ³
Profundidad de lodos, H _d :	0.90	m
Profundidad de sedimentador, H _s :	0.45	m
Profundidad de espuma sumergida, H _e :	0.06	m
Borde libre=	0.30	m
Altura del tanque, H _t :	1.70	m
Concentración en el efluente de los siguientes parámetros:		
Demanda Bioquímica de Oxígeno, D.B.O5	141.84	mg/l
Sólidos suspendidos totales, SST:	50.85	mg/l
Fósforo, P:	3.27	mg/l
Coliforme fecales	24000.00	nmp/100 ml

Fuente: Autora

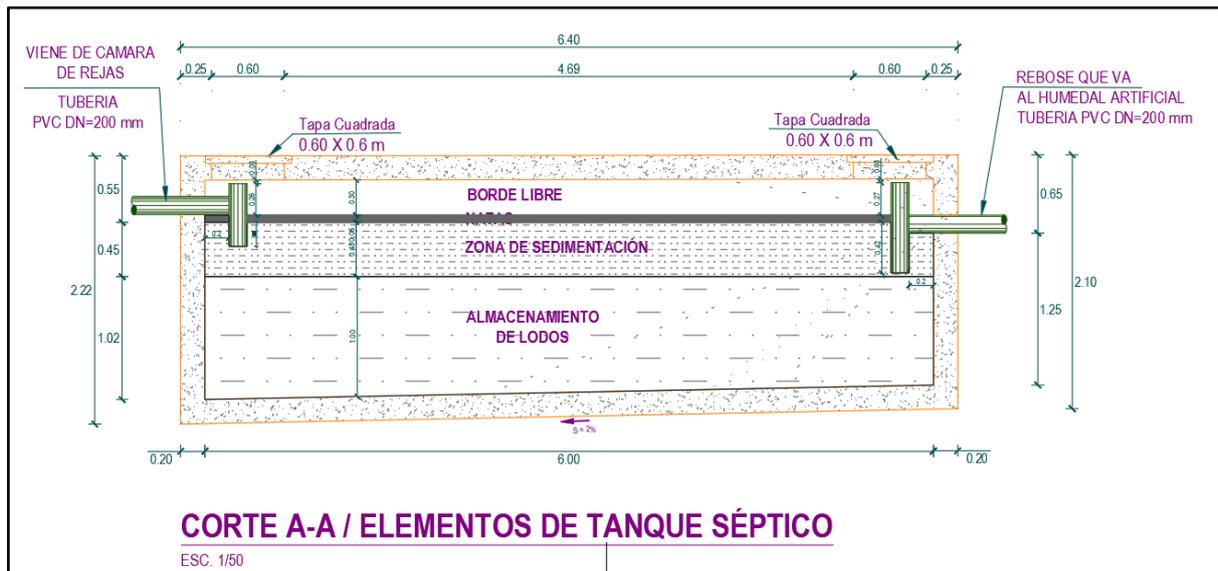


Ilustración 21. Detalle longitudinal del tanque séptico.

5.5.3 Tratamiento Secundario

5.5.3.1 Humedales Artificiales

Los humedales artificiales son considerados sistemas de tratamiento de aguas residuales, estanques o cauces; pocos profundos. Construidos de forma tal, que el agua residual puede ser tratada a través de un sin número de procesos físicos, biológicos y químicos naturales; generados por las plantas acuáticas, que en ellos se siembran. A su vez, se consideran sistemas de tratamiento

alternativo, debido a la escasa energía operativa requerida, para su funcionamiento (Llagas & Guadalupe, 2006).

5.5.3.2 Funciones de los humedales artificiales

Entre las funciones que cumplen los humedales artificiales, se encuentran:

✓ **Procesos de remoción físico.**

Los humedales artificiales proporcionan una alta remoción física de contaminantes presentes en las aguas residuales, comúnmente se asocian al material particulado. El proceso de fitodepuración se realiza por el paso lento del flujo laminar a través del humedal y la resistencia que brindan las raíces propias de las plantas flotantes, sembradas en el lecho. En este tipo de tratamientos la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos, será proporcional a la velocidad del material particulado y la longitud del humedal (Llagas & Guadalupe, 2006).

✓ **Proceso de remoción biológico.**

La remoción biológica en el humedal, se genera por cuan eficiente es la captación de la planta ante los contaminantes presentes en las aguas residuales; quienes se convierten en su principal fuente de nutrientes, al encontrarse formadas básicamente de nitratos, amonio y fosfatos. Sin embargo, se han reconocido especies capaces de captar y acumular cantidades significativas de metales tóxicos como lo son el cadmio y el plomo (Llagas & Guadalupe, 2006).

✓ **Proceso de remoción químico.**

Dentro de esta clase de tratamiento, la absorción es uno de los procesos químicos más importantes. De acuerdo a la capacidad de absorción, el proceso de retención que caracterice el humedal tendrá variaciones de corto o largo plazo. Este proceso se centra en la transferencia de iones a partir de la fase de la solución o flujo de agua residual a la fase sólida, como lo es el lecho del humedal (Llagas & Guadalupe, 2006).

5.5.3.3 Humedales artificiales de flujo subsuperficial

Se caracterizan por que el flujo se realiza a través de un lecho poroso, conformado generalmente de grava, se diseñan de tal forma, que el agua residual permanece por debajo de la superficie del sustrato todo el tiempo. Son sellados o impermeabilizados en forma de cubeta, la cual se rellena con sustrato poroso de grava, arena u otro tipo de material en el cual, la vegetación seleccionada para la depuración pueda desarrollarse; usualmente macrófitas emergentes. El sustrato presenta una profundidad variable de 30 a 90 cm y suelen adaptarse de manera mucho más eficiente al tratamiento de aguas residuales con bajas concentraciones de solidos suspendidos, como lo son las aguas residuales domesticas de pequeñas comunidades. Se clasifican de acuerdo a la dirección del flujo en; horizontales o verticales (Rabat, 2016).

5.5.3.3.1 Criterios de diseño típico de humedales artificiales de flujo subsuperficial.

Tabla 26. Criterios de diseño típico de los HHA FSS y la calidad de efluentes esperados.

Humedales artificiales de Flujo Subsuperficial		
Parámetro de diseño	Unidad	Valor
Tiempo de Retención	d	3-4 (DBO) 6-10 (N)
Velocidad de carga Orgánica	Kg/ha.d	<110
Velocidad de carga de SST que entran	Kg/m ² .d	0,04
Profundidad del agua	m	0,3-0,61
Profundidad del medio	m	0,46-0,76
Control de mosquitos		No Requerido
Esquema de cosecha		No Requerido
Calidad esperada del efluente		
DBO ₅	mg/l	<20
SST	mg/l	<20
NT	mg/l	<10
PT	mg/l	<5

Fuente: (Rabat, 2016)

5.5.3.4 Tipos de humedales artificiales de flujo subsuperficial.

De acuerdo a Rabat (2016), los humedales de flujo subsuperficial se clasifican de acuerdo a la dirección del flujo, y estos son:

5.5.3.4.1 Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal.

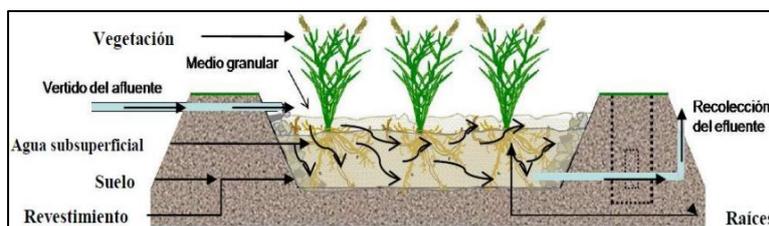


Ilustración 22. Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal.

Fuente: (Rabat, 2016)

- ✓ Se estructuran por una cubeta impermeabilizada, en la que se dispone material granular.
- ✓ Se dividen en tres zonas; la zona de entrada, en la que el flujo es amortiguado y distribuido de forma homogénea en lo ancho del humedal.

El cuerpo, donde la vegetación se desarrolla y se realizan los procesos de transformación y la zona de salida, donde se ubica un tubo de drenaje que recoge el agua tratada.

- ✓ La superficie y el fondo presentan pendientes de 0,5 y 1%.
- ✓ La profundidad del lecho varía entre los 30 y 60 cm y el agua se encuentra a menos de 10 cm de la superficie del sustrato.
- ✓ El lecho suele ser de arena o grava fina con diámetros de 3 y 35 mm. En la zona de entrada y salida se ubican diámetros de 30 y 100 mm.
- ✓ Son efectivos para eliminar sólidos en suspensión y filtrar sedimentos.

Rendimientos de Depuración en los humedales artificiales de flujo Subsuperficial Horizontal.

Tabla 84. Rendimientos de depuración en Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal.

Parámetro	% de Reducción HHAA FSSH
Sólidos en Suspensión	90-95
DBO ₅	85-95
DQO	80-90
Nitrógeno Total	20-40
Fósforo Total	20-30

Fuente: (Rabat, 2016)

5.5.3.4.2 Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Vertical.

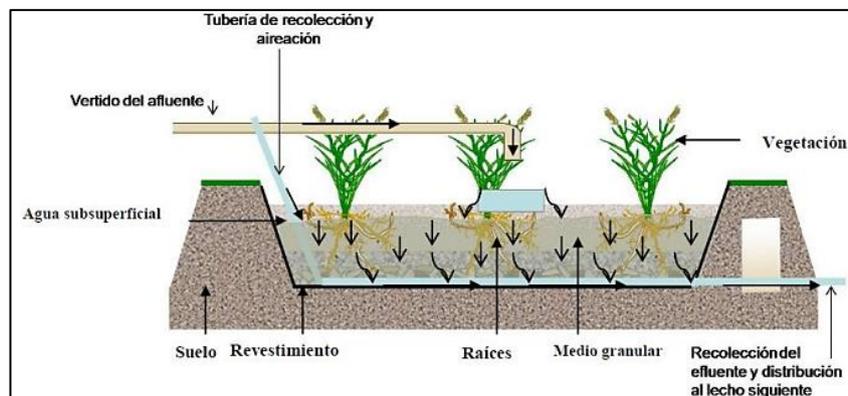


Ilustración 23. Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Vertical.

Fuente: (Rabat, 2016)

- ✓ Receptan el agua a tratar en la superficie del lecho poroso, las cuales se filtran hasta ser recogidas en el fondo, por una red de drenaje.
- ✓ El agua se carga de forma intermitente.
- ✓ La profundidad del medio granular puede variar, usualmente la grava de mayor diámetro es ubicada en el fondo del lecho y la vegetación utilizada para la depuración es distribuida en toda la superficie.
- ✓ Demuestran mayor eficiencia en la remoción de NH₄ y fósforo.
- ✓ La entrada del agua residual se realiza mediante un sistema de tuberías.
- ✓ El fondo del lecho tiene una red de drenaje que evacua el caudal por gravedad.
- ✓ Suelen tener poca efectividad en la eliminación de sólidos en suspensión y coliformes fecales.

Rendimientos de Depuración en los humedales artificiales de flujo Subsuperficial Vertical.

Tabla 27. Rendimientos de depuración en Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal.

Parámetro	% de Reducción HHAA FSSV
Sólidos en Suspensión	90-95
DBO ₅	90-95
DQO	80-90
Nitrógeno Total	60-70
Fósforo Total	20-30

Fuente: (Rabat, 2016)

Para el diseño del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal propuesto para el tratamiento de las aguas residuales de la comunidad “El Prado”, se ejecutará el método de Reed. A continuación, se mencionan sus parámetros de diseño:

5.5.3.5 Parámetros de diseño de humedales artificiales de flujo subsuperficial.

5.5.3.5.1 Plantas macrófitas emergentes.

De acuerdo a Martín (1989), los humedales de flujo subsuperficial se conforman de plantas acuáticas emergentes, arraigadas en el suelo o en el lecho del humedal; se caracterizan especialmente por ser anfibias, es decir, pueden desarrollarse y vivir en aguas poco profundas. Sus tallos y hojas, comúnmente emergen fuera del agua, alcanzando alturas de dos y tres metros. Así mismo, tienen la cualidad de ser vigorosas y productivas, pues aprovechan los medios para desarrollarse de manera eficaz, ya sea en el medio terrestre o acuático.

Debido a ello, las plantas emergentes no presentan limitaciones de agua, además tienen un mayor acceso a la luz solar que las plantas sumergidas. Por lo tanto, resultan ser un medio eficaz para la depuración de aguas residuales, debido a sus características y su gran capacidad ante la eliminación de contaminantes (Isaura, 1989).

Fonseca (2010), menciona que las plantas emergentes favorecen en gran manera el tratamiento de las aguas residuales y la escorrentía, de la siguiente forma:

- ✓ Estabilizando los sustratos y coartando el flujo de agua canalizado.
- ✓ Disminuyen la velocidad del agua, permitiendo que los materiales suspendidos presentes en el flujo se depositen.
- ✓ Receptan el carbono, los nutrientes y los oligoelementos del agua residual, para incorporarlos en sus tejidos.
- ✓ Ejecutan el traspaso de los gases entre la atmósfera y los sedimentos.
- ✓ Producen espacios oxigenados en el sustrato, a través de las fugas de oxígeno en las estructuras subsuperficiales de las plantas.
- ✓ Proporcionan sitios adecuados para la realización de la fijación microbiana, mediante sus tallos y raíces.
- ✓ Se retornan en basura cuando mueren y descomponen.

5.5.3.5.2 Zonas de los humedales.

De acuerdo a García (2005), se contemplan en el diseño clásico de un humedal, cuatro posibles zonas operativas de división; las cuales son:

- ✓ **Zona de entrada:** mide aproximadamente 2m de largo, se dispone en ella grava de 40-80 mm de diámetro, con la finalidad de evitar taponamientos.
- ✓ **Zonas de tratamiento 1 y 2:**
 - Zona 1:** tiene una longitud aproximada del 30% respecto a la longitud total del humedal y se conforma usualmente, por grava de 20-30 mm de diámetro.
 - Zona 2:** su longitud es aproximadamente el 70% con respecto a la longitud total del humedal, se conforma por grava de diámetros aproximados entre 20 a 30 mm.
- ✓ **Zona de salida:** mide aproximadamente 1m de largo y la grava que la conforma es de 40-80mm de diámetro, tamaño apropiado para evitar taponamientos.

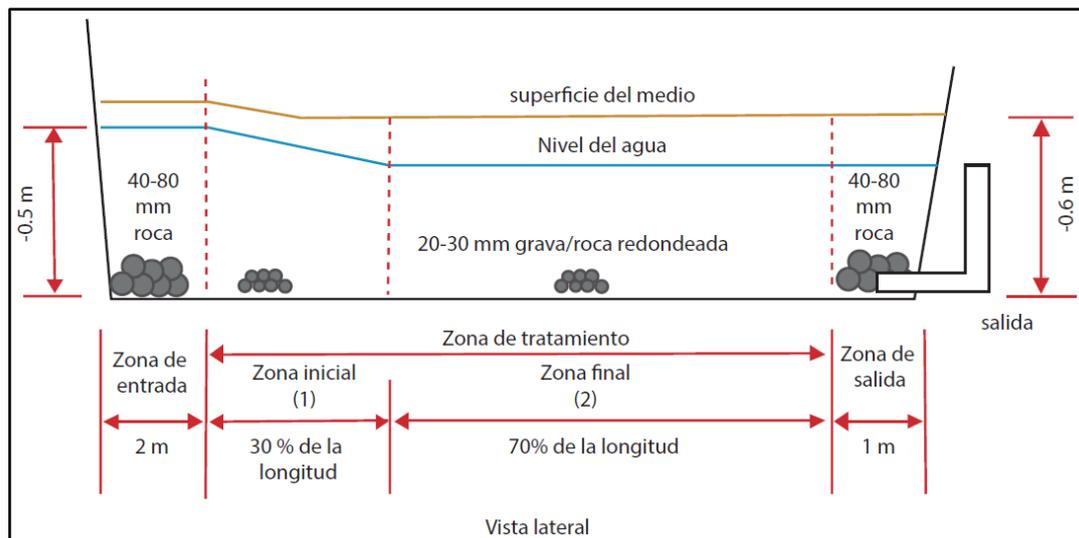


Ilustración 24. Componentes del balance hidráulico del humedal de flujo subsuperficial de tipo horizontal.

Fuente: (Comisión Nacional del Agua, 2021)

5.5.3.5.3 Diseño para remoción de la Demanda Biológica de Oxígeno DBO.

Los humedales de flujo subsuperficial suelen presentar un mayor rendimiento en cuanto a la remoción de la DBO, debido a su área sumergida. Las ecuaciones para la remoción de DBO, para este tipo de humedales, son:

✓ Ecuación del Coeficiente de Temperatura.

$$\frac{C_e}{C_o} = e^{-K_T t}$$

$$K_T = K_{20} (1,06)^{(T-20)}$$

✓ Área superficial del humedal.

$$A_s = \frac{Q(\ln(C_o) - \ln(C_e))}{K_T(y)(n)}$$

Donde:

- K_T = Constante de Temperatura
- y = Profundidad de diseño del sistema, m
- n = porosidad del humedal
- Q = Caudal medio a través del humedal, m³/d
- A_s = Área superficial del humedal, m²

La porosidad del lecho varía de acuerdo al tipo de relleno a utilizar, de acuerdo a la tabla N°15. la constante de temperatura se define con la ecuación antes morada, en el cual el valor para $T=20^{\circ}\text{C}$ es de $K_{20}=1,104 \text{ d}^{-1}$. Por lo general la profundidad de los humedales de flujo subsuperficial es de 0,6 m, sin embargo en climas cálidos funcionan de manera correcta, con profundidades de 0,3 m (Rabat, 2016).

Tabla 29. Características típicas de los medios.

Tipo de material	Tamaño efectivo D_{10} , mm	Porosidad (n), %	Conductividad hidráulica, k_s (m ³ /m ² /d)
Arena gruesa	2	28-32	100-1000
Arena gravosa	8	30-35	500-5000
Grava fina	16	35-38	1000-10000
Grava media	32	36-40	10000-50000
Roca gruesa	128	38-45	50000-250000

Fuente: (Rabat, 2016)

- Las profundidades bajas, en esta clase humedales aumenta el potencial de transferencia de oxígeno, sin embargo, se necesitaría un área mucho mayor.

5.5.3.5.4 **Diseño para remoción de sólidos suspendidos totales.**

De acuerdo a Rabat (2016), para estimar la magnitud de descarga de sólidos suspendidos totales, se ha propuesto la siguiente ecuación:

$$C_e = C_o * (0,1058 + 0,0014 * CHS)$$

Donde:

- C_e = concentración de sólidos en suspensión en el efluente (mg/l)
- C_o = concentración de sólidos en suspensión en el influente (mg/l)
- CHS = carga hidráulica superficial (cm/d)

5.5.3.5.5 **Diseño para remoción de nitrógeno**

La nitrificación dependerá en cierto modo de la profundidad de penetración de las raíces propias de las plantas emergentes, sembradas en el lecho poroso (Rabat, 2016). Por ello se cuenta con la siguiente ecuación, que define la relación antes mencionada.

✓ Nitrificación

Cuando se requiere convertir el amoníaco presente en las aguas residuales, a nitratos, se toman en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$K_{NH} = 0,01854 + 0,3922(r_z)^{2,6077}$$

Donde:

- K_{NH} = Constante de nitrificación a 20°C, d⁻¹
- r_z =
Porcentaje de la profundidad del lecho ocupado por la zona de las raíces.
fracción decimal (0 a 1)
- El valor de la constante de nitrificación K_{NH} será de 0,4107 para zonas con raíces desarrolladas en su totalidad, y será de 0,01854 si el lecho poroso no contienen vegetación.

Al definir la constante K_{NH} se puede determinar la remoción de amoníaco, por nitrificación en humedales de este tipo, utilizando las expresiones ya mencionadas:

$$\frac{C_e}{C_o} = e^{-K_T t}$$

$$A_s = \frac{Q * \ln(C_o/C_e)}{K_T(y)(n)}$$

Donde:

- $K_T =$ Constante de Temperatura, d^{-1}

La constante K_T se calculará de la siguiente forma:

$$K_0 = 0, \text{ a } 0^\circ\text{C}$$

$$K_T = K_{10}(1,15)^{(T-10)} d^{-1}, \text{ de } 1 - 1 \text{ } 0^\circ\text{C}$$

$$K_T = K_{NH}(1,048)^{(T-20)} d^{-1}, \text{ +1 } 0^\circ\text{C}$$

- $y =$ Profundidad de diseño del sistema, m
- $n =$ porosidad del humedal
- $Q =$ Caudal medio a través del humedal, m^3/d
- $A_s =$ Área superficial del humedal, m^2
- $C_e =$ Concentración de amoníaco en el efluente, mg/l
- $C_o =$ Concentración de amoníaco en el afluente, mg/l
- $t =$ Tiempo de residencia hidráulica, d.

✓ Desnitrificación

En caso de requerir la eliminación de nitrógeno, presente en las aguas residuales se consideran las siguientes ecuaciones:

$$\frac{C_e}{C_o} = e^{-K_T t}$$

$$A_s = \frac{Q * \ln(C_o/C_e)}{K_T(y)(n)}$$

Donde:

- $K_T =$ Constante de Temperatura, d^{-1}

La constante K_T se calculará de la siguiente forma:

$$K_T = 0 \text{ d}^{-1}, \text{ a } 0^\circ\text{C}$$

$$K_T = 1,00(1,15)^{(T-20)} d^{-1}, \text{ + } 1^\circ\text{C}$$

- y = Profundidad de diseño del sistema, m
- n = porosidad del humedal
- Q = Caudal medio a través del humedal, m^3/d
- A_s = Área superficial del humedal, m^2
- C_e = Concentración de nitratos en el efluente, mg/l
- C_o = Concentración de nitratos en el afluente, mg/l
- t = Tiempo de residencia hidráulica, d.

✓ Nitrógeno Total

Cuando se requiere un límite de descarga en cuanto a nitrógeno total, se debe contemplar que, el nitrógeno total presente en el efluente será igual a la suma de los valores obtenidos por Nitrificación y Desnitrificación expresados por la ecuación $\frac{C_e}{C_o} = e^{-K_T t}$ (Rabat, 2016).

5.5.3.5.6 Diseño para remoción de fósforo

Las ecuaciones utilizadas para realizar la remoción de fósforo, serán similares a las antes propuestas, teniendo:

$$\frac{C_e}{C_o} = \exp\left(\frac{-K_p}{CH}\right)$$

$$A_s = \frac{Q * \ln(C_o/C_e)}{K_T(y)(n)}$$

Donde:

- C_e = Concentración de fósforo en el efluente, mg/l
- C_o = Concentración de fósforo en el afluente, mg/l
- K_p = 2,74 cm/d
- CH = Carga hidráulica promedio anual, cm/d

5.5.3.5.7 **Diseño hidráulico y dimensionamiento**

De acuerdo a Rabat (2016), para el diseño hidráulico de los humedales de flujo subsuperficial, se utilizará la Ley de Darcy, que describe el régimen de los flujos en medios porosos como lo es la arena. Comúnmente, la ley de Darcy no es aplicable de forma estricta en esta clase de humedales, sin embargo, como se presenta un flujo turbulento por la presencia de la grava gruesa y el alto gradiente hidráulico el cual, lo caracteriza, es recomendable utilizarlo, bajo las siguientes condiciones y ecuaciones:

- ✓ Se conformará el lecho por grava de tamaño medio o pequeño.
- ✓ El sistema se construye, con la finalidad de prever cortocircuitos.
- ✓ Se diseña el sistema, con la finalidad de tener una mínima dependencia sobre el gradiente hidráulico.

$$v = K_s * s \text{ y dado que } v = \frac{Q}{W * y}$$

Siendo la Ley de Darcy:

$$Q = K_s * A_c * s$$

Donde:

- Q = caudal promedio a través del humedal, m^3/d [$(Q_o + Q_e)/2$]
- K_s = conductividad hidráulica de una unidad de área del humedal.

Será perpendicular al flujo

- A_c = área de la sección transversal perpendicular al flujo, m
- s = gradiente hidráulico o pendiente de superficie de agua en el sistema.
- v = velocidad de Darcy.

la velocidad aparente del flujo a través de la totalidad del área de la sección

- transversal del lecho, m/d

Se obtienen de estas ecuaciones, una que permita calcular de forma considerable el ancho mínimo de la celda de un humedal de flujo subsuperficial compatible, con el gradiente hidráulico que sea seleccionado en el diseño. De ello, se tiene la siguiente ecuación:

$$s = \frac{(m)(y)}{L}$$

$$L = \frac{A_s}{W}$$

$$A_c = (W)(y)$$

Donde:

- W = ancho mínimo de una celda del humedal, m
- A_c = área superficial del humedal, m
- L = longitud del humedal, m
- m = pendiente del humedal, % expresado como decimal (5-20% de la pérdida de carga potencial)
- y = profundidad del agua en el humedal, m

$$W = \frac{1}{y} \left[\frac{(Q)(A_s)}{(m)(k_s)} \right]^{0,5}$$

Estas ecuaciones se recomiendan a utilizar, en flujos laminares; cuando el número de Reynolds es menor a 10.

$$N_R = \frac{v * D}{\tau}$$

Donde:

- N_R = número de Reynolds, adimensional
- v = velocidad de Darcy, m/s
- D = diámetro de los vacíos del medio, igual al tamaño medio del medio, m
- τ = viscosidad cinemática del agua, m^2/s

Tabla 30. Propiedades físicas del agua

temperatura (T), (°C)	Densidad (ρ), (Kg/m ³)	Viscosidad dinámica $\times 10^3$ (μ) (N*s/m ²)	Viscosidad cinemática $\times 10^6$ (τ) (m ² /s)
0	999,8	1,781	1,785
5	1000,0	1,518	1,519
10	999,7	1,307	1,306
15	999,1	1,139	1,139
20	998,2	1,102	1,003
25	997,0	0,890	0,893
30	998,7	0,708	0,800
40	992,2	0,653	0,658
50	988,0	0,547	0,553
60	983,2	0,466	0,474
70	977,8	0,404	0,413

Fuente: (Rabat, 2016)

Siendo la conductividad hidráulica (k_s) un factor que varía en función de la viscosidad y la temperatura del agua, se tiene la siguiente ecuación para calcularla.

$$\frac{k_{sT}}{k_{d20}} = \frac{\mu_{20}}{\mu_T}$$

Donde:

- k_s = conductividad hidráulica a una temperatura T y a 20°C
- μ = viscosidad dinámica del agua a una temperatura T y a 20°C

A su vez, este parámetro varía de acuerdo al número y tamaño de vacíos en el lecho del humedal. Como lo muestra la siguiente tabla:

Tabla 31. Características típicas de los medios de un humedal.

Tipo de material	Tamaño efectivo D_{10} , mm	Porosidad (n), %	Conductividad hidráulica, k_s ($m^3/m^2/d$)
Arena gruesa	2	28-32	100-1000
Arena gravosa	8	30-35	500-5000
Grava fina	16	35-38	1000-10000
Grava media	32	36-40	10000-50000
Roca gruesa	128	38-45	50000-250000

Fuente: (Rabat, 2016)

En caso de utilizar en el lecho del humedal, gravas gruesas o rocas; la conductividad hidráulica se calculará con la siguiente ecuación:

$$k_s = n^{3,7}$$
$$\frac{k_{sT}}{k_{d20}} = \frac{\mu_{20}}{\mu_T}$$

Donde:

- n = porosidad del elemento.

5.5.3.6 Diseño del humedal de flujo subsuperficial

Para la comunidad “El Prado”, se propone diseñar humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal; con la finalidad de obtener los parámetros permisibles de tratamiento de aguas residuales, para su reutilización en actividades de riego y cultivo. A continuación, se muestra la vegetación utilizada en el lecho, el tamaño del material granular, y las dimensiones de diseño, del humedal artificial propuesto:

5.5.3.6.1 Vegetación

Tabla 85. Vegetación depuradora a utilizar en el Humedal Artificial.

<p style="text-align: center;"><u>TOTORA</u></p>  <p style="text-align: center;">Ilustración 25. <i>Totoras</i> Fuente: (Quiroz, 2006)</p>	<p>Nombre científico: <i>Typha angustifolia</i></p> <p>Familia: Typháceas</p> <p>Género: Pertenece al género de plantas acuáticas marinas o palustres, perennes y caducas. Se conforman por robustas hojas, de carácter fibroso y forma lanceolada; forman densas matas alrededor de los espejos de agua como, estanques, lagunas o arroyos, mayormente en cursos lentos (Eva, 2020).</p> <p>Especie: Angiosperma, planta con flores y frutos con semilla.</p> <p>Clima: Es resistente a las heladas y toleran hasta -20°C.</p> <p>Generalidades: Son de carácter invasivo y alcanzan de 1-3 m de altura, siendo el promedio 2.5 m de altura. Toleran largos periodos de inundación y poseen hojas largas de hasta 2cm de ancho con forma ovalada (Eva, 2020) .</p>
---	---

<p style="text-align: center;"><u>GUADUA</u></p>  <p style="text-align: center;">Ilustración 26. <i>Guadua</i> Fuente: (Marínez, 2021)</p>	<p>Nombre científico: <i>angustifolia kunth</i></p> <p>Familia: Poaceae</p> <p>Género: <i>Guadua</i></p> <p>Especie: <i>Guadua angustifolia</i> nativa de Colombia, Ecuador y Venezuela.</p> <p>Clima: se desarrollan de forma óptima entre 900 y 1,600 m s.n.m a temperaturas de 20° y 26°C (Guadua Bamboo, 2019).</p> <p>Generalidades: presentan un crecimiento de 21 cm de altura diariamente, llegando a alcanzar alturas máximas de (15 a 30 m), solamente en los primeros seis meses. Puede cosecharse de 4 a 5 años (Guadua Bamboo, 2019).</p>
---	--

5.5.3.6.2 Material granular a utilizar en el humedal artificial

El humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal, estará conformado por tres diferentes zonas:

- ✓ Zona de entrada. - Tendrá una longitud de 2 metros y estará compuesta por grava, con un espesor de 60 mm. Esta zona no estará rodeada de vegetación depuradora.
- ✓ Zona de tratamiento. - Tendrá una longitud de 8 metros, se encontrará rodeada de vegetación depuradora, totoras (*Typa Angustifolia*) y guadua (*Guadua angustifolia kunth*). A su vez, se compone de grava con limo y arena, y presentarán diámetros de 25 mm de espesor.
- ✓ Zona de Salida: Tendrá una longitud de 1 metro y estará compuesta por grava, con espesores de 40 mm. La zona de salida, no estará rodeada de vegetación.

5.5.3.6.3 Diseño del humedal de flujo subsuperficial horizontal

Tabla 33. Datos para el diseño del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.

DATOS PARA EL DISEÑO		
Caudal de diseño:	20,10	m ³ /d
Profundidad del humedal, Dm:	0,75	m
Profundidad del agua en la entrada, Dwo:	0,60	m
Profundidad del agua al comienzo de la zona de tratamiento final, Dwf:	0,60	m
Profundidad del medio, Dm:	0,75	m
Temperatura del agua del mes más frío:	21	°C
Pendiente del fondo del humedal, s:	0,50	%
Material de la zona de tratamiento		
Grava Gruesa	25	mm
Porosidad, n:	38	%
Conductividad hidráulica, Ks:	6062,5	m ³ /m ² d
Parámetros	Concentración afluente	Concentración efluente
Demanda Química de oxígeno, D.Q.O, mg/l:	400,82	88,18
Demanda Bioquímica de Oxígeno, D.B.O5, mg/l:	141,84	22,69
Fósforo total, P, mg/l:	3,27	2,45
Sólidos suspendidos totales, SST, mg/l:	50,85	5,09
Nitrógeno total, NT, mg/l:	25,00	17,50
Coliforma fecales, nmp/100 ml:	24000,00	720,00

Fuente: Autora

Para el diseño del humedal de flujo subsuperficial horizontal, se considera el modelo propuesto por la United States Environmental Protection Agency (EPA), que se presenta a continuación:

✓ Paso 1.- Determinación del área superficial

Para determinar el área superficial del humedal se debe calcular primero el coeficiente de temperatura, K_T , para el mes más crítico, en este caso es el mes más frío, se obtiene:

Coefficiente de temperatura:

$$K_T = K_{20}(1,06)^{T-20}$$

La **constante de velocidad** K_{20} para temperatura de 20 °C es de 1,104 d^{-1} (Crites et al., 2006).

$$K_T = 1,104 (1,06)^{21-20}$$

$$K_T = 1,17 d^{-1}$$

Para hallar el **área superficial** se aplica la siguiente ecuación:

$$A_s = \frac{Q[\ln(C_o) - \ln(C_e)]}{K_T \times y \times n}$$

$$A_s = \frac{20,10 [\ln(141,84) - \ln(22.69)]}{1,17 \times 0,75 \times 0,38}$$

$$A_s = 110,46 m^2$$

El **área para la zona inicial**, A_1 , de tratamiento es igual al 30% del área superficial:

$$A_1 = 0,3 \times 110,46$$

$$A_1 = 33,14 m^2$$

Para la **zona final** de tratamiento, A_2 , es igual al 70% del área superficial, se obtiene:

$$A_2 = 0,7 \times 110,46$$

$$A_2 = 77,32 m^2$$

✓ Paso 2.- Determinación del ancho mínimo necesario.

Para mantener el flujo de agua por debajo de la superficie, se debe calcular el ancho mínimo, W , usando la ecuación de Darcy. Antes de calcular el ancho mínimo, se debe hallar la conductividad hidráulica de la zona de tratamiento inicial (K_{si}) y la pérdida de carga máxima en la zona de tratamiento inicial (d_{hi}).

Conductividad hidráulica de la zona de tratamiento inicial (Ksi) es:

$$K_{s,i\%} = 6062,5 \times 0,01 = \mathbf{60,63 \frac{m^3}{m^2d}}$$

Pérdida de carga máxima en la zona de tratamiento inicial (dhi) es:

$$dh_{i,10\%} = 0,75 \times 0,10 = \mathbf{0,075 \text{ m}}$$

Ancho mínimo, se obtiene:

$$W = \left[\frac{Q \times A_i}{K_{s,1\%} \times dh_i \times D_{wo}} \right]^{0,5}$$

$$W = \left[\frac{20,10 \times 33,14}{60,63 \times 0,075 \times 0,60} \right]^{0,5}$$

$$W = 15,60 \text{ m} \approx \mathbf{16 \text{ m}}$$

- ✓ Paso 3.- Determinación de la longitud, pérdida de carga en la zona inicial y final de tratamiento.

Zona inicial de tratamiento

Longitud

$$L_i = \frac{A_i}{W} = \frac{33,14}{16} = 2,07 \text{ m} \approx \mathbf{2 \text{ m}}$$

Pérdida de carga

$$dh_i = \frac{Q \times L_i}{K_{s,1\%} \times W \times D_{wo}}$$

$$dh_i = \frac{20,10 \times 2}{60,63 \times 16 \times 0,60}$$

$$\mathbf{dh_i = 0,071 \text{ m}}$$

Zona final de tratamiento

Longitud

$$L_i = \frac{A_2}{W} = \frac{77,32}{16} = 4,83 \text{ m} \approx \mathbf{6 \text{ m}}$$

Se considera una longitud igual o mayor a lo calculado, en este caso, se asume una longitud de 6 metros.

Pérdida de carga

$$dh_F = \frac{Q \times L_F}{K_{s,1\%} \times W \times D_{w0}}$$
$$dh_F = \frac{20,10 \times 6}{6062,5 \times 0,10 \times 16 \times 0,60}$$
$$dh_F = \mathbf{0,02 \text{ m}}$$

- ✓ Paso 4.- Longitud total del humedal

$$L = L_i + L_F = 2 + 6 = \mathbf{8 \text{ m}}$$

Para cumplir con la relación largo-ancho (2:1 a 4:1), se propone a dividir el humedal por número de celdas, las cuales están separadas por una geomembrana. Por lo tanto, el ancho de cada celda es de:

$$W_{\text{celda}} = \frac{W}{N} = \frac{16}{4} = 4 \text{ m}$$

Con este ancho de 4 metros, se obtiene una relación de largo/ancho de 2:1, de esta manera se cumple con este criterio.

- ✓ Paso 5.- Determinación de las elevaciones del fondo

Para hallar la determinación de las elevaciones del fondo, se debe asumir lo siguiente:

- Se debe asumir que la elevación a la salida del efluente, E_{be} , se considera cero.
- Elevación a la entrada de la zona final de tratamiento, E_{bF} :

$$E_{bF} = L_F \times S_F = 6 \times 0,005 = \mathbf{0,03 \text{ m}}$$

- Elevación a la entrada de la zona inicial de tratamiento, E_{b0} :

$$E_{b0} = L \times S_F = 8 \times 0,005 = \mathbf{0,04 \text{ m}}$$

- ✓ Paso 6.- Determinación de las elevaciones de la superficie del agua

- Elevación del agua al inicio de la zona final de tratamiento, E_{WF} :

$$E_{WF} = E_{bF} + D_{wF} = 0,04 + 0,6 = \mathbf{0,64 \text{ m}}$$

- Elevación de la superficie del agua a la salida, E_{WE} :

$$E_{WE} = E_{WF} - dh_F = 0,64 - 0,02 = \mathbf{0,62 \text{ m}}$$

- Elevación de la superficie del agua a la entrada, E_{w0} :

$$E_{w0} = E_{WF} - dh_i = 0,64 - 0,071 = \mathbf{0,57 \text{ m}}$$

✓ Paso 7.- Determinación de la profundidad del agua

- Profundidad del agua a la entrada, D_{W0} :

$$D_{W0} = E_{W0} - E_{b0} = 0,57 - 0,04 = \mathbf{0,53\ m}$$

- Profundidad al inicio de la zona final de tratamiento, D_{WF} :

$$D_{WF} = E_{WF} - E_{bF} = 0,64 - 0,03 = \mathbf{0,61\ m}$$

- Profundidad del agua a la salida del humedal, D_{WE} :

$$D_{WE} = E_{WE} - E_{be} = 0,62 - 0 = \mathbf{0,62\ m}$$

El resultado de la profundidad del agua en la zona de entrada y final del humedal, se mantiene alcanza un valor máximo de 0,62 m, el cual no hay mucha diferencia con el valor propuesto de a 0,60 m, por lo tanto, el proceso es correcto.

✓ Paso 8.- Determinación de la profundidad del medio

La profundidad del humedal depende de la profundidad de la raíz de la macrófitas consideradas en el humedal. Se considera una altura constante de agua en la zona de tratamiento del humedal, la profundidad del medio se obtiene de la siguiente manera:

- Distancia propuesta entre la superficie del medio y la del agua, D_{WM} , es de **0,1 m**.

- Elevación de la superficie del medio a la entrada, E_{M0} :

$$E_{M0} = E_{W0} - D_{WM} = 0,57 - 0,1 = \mathbf{0,47\ m}$$

- Elevación de la superficie del medio a la entrada de la zona final de tratamiento, E_{MF} :

$$E_{MF} = E_{WF} + D_{WM} = 0,64 + 0,10 = \mathbf{0,74\ m}$$

- Elevación de la superficie del medio a la salida, E_{ME} :

$$E_{ME} = E_{WE} + D_{WM} = 0,62 + 0,10 = \mathbf{0,72\ m}$$

- Profundidad del medio a la entrada, D_{M0} :

$$D_{M0} = E_{M0} - E_{b0} = 0,47 - 0,04 = \mathbf{0,43\ m}$$

- Profundidad del medio a la entrada de la zona final de tratamiento, D_{MF} :

$$D_{MF} = E_{MF} - E_{bF} = 0,74 - 0,03 = \mathbf{0,71\ m}$$

- Profundidad del medio a la salida, D_{ME} :

$$D_{ME} = E_{ME} = \mathbf{0,72\ m}$$

Por lo tanto, la profundidad del humedal asumido, 0,75 m, la cual permitirá una altura de agua constante en la zona de tratamiento del humedal y, además habrá

mejores actividades de operación y mantenimiento.

✓ Paso 9.- Determinación del tiempo de residencia hidráulica (TRH) nominal

$$TRH_{\text{nominal}} = \frac{A_s \times D_m \times n}{Q}$$

$$TRH_{\text{nominal}} = \frac{128 \times 0,75 \times 0,38}{20,10}$$

$$TRH_{\text{nominal}} = \mathbf{1,81 \text{ d} = 43,44 \text{ h}}$$

✓ Paso 10.- Concentración estimada en el efluente.

Para determinar la concentración estimada de contaminantes en el efluente del humedal, se considera el modelo propuesto por Reed, la cual fue sugeridos por Reed SC, Crites RW y Middlebrooks en su obra “Natural Systems for Waste Management and Treatment” según (Rabat, 2016).

- Demanda Bioquímica de Oxígeno, D.B.O5:

$$C_{e, \text{DBO5}} = e^{-K_T(t)} \times C_o$$

$$C_{e, \text{DBO5}} = e^{-1,17 (1,81)} \times 141,84$$

$$C_{e, \text{DBO5}} = \mathbf{17,06 \text{ mg/l}}$$

- Coliformes fecales

El porcentaje de remoción de coliformes fecales en humedales artificiales asumido de manera teórica es de 97%, por lo tanto, la concentración en el efluente es de:

$$C_e = \mathbf{720.00 \text{ nmp}/100 \text{ ml}}$$

- Sólidos suspendidos totales, SST:

$$C_{e, \text{SST}} = C_o \times \left(0,1058 + 0,0014 \times 100 \times \frac{Q}{A_s} \right)$$

$$C_{e, \text{SST}} = 50,85 \times \left(0,1058 + \left(0,0014 \times 100 \times \frac{20,10}{128} \right) \right)$$

$$C_{e, \text{SST}} = \mathbf{6,50 \text{ mg/l}}$$

- Demanda química de oxígeno, D.Q.O:

El porcentaje de remoción de D.Q.O en humedales artificiales asumido de manera teórica es de 78%, por lo tanto, la concentración en el efluente es de:

$$C_e = \mathbf{88.18 \text{ mg/l}}$$

- Nitrógeno total, NT:

Para determinar la concentración de nitrógeno total en el efluente del humedal, se debe aplicar las siguientes ecuaciones propuestas por (Crites et al., 2006):

✚ Nitrificación

El porcentaje de la profundidad del lecho a considerares de 100%, la cual se encuentra ocupado por la zona de las raíces:

$$K_{NH} = 0,01854 + 0,3922(r_z)^{2,6077}$$

$$K_{NH} = 0,01854 + 0,3922(r_z)^{2,6077}$$

$$\mathbf{K_{NH} = 0,4107 d^{-1}}$$

- Constante dependiente de la temperatura

$$K_T = K_{NH}(1,048)^{(T-20)}$$

$$K_T = 0,4107(1,048)^{(21-20)}$$

$$\mathbf{K_T = 0,4304 d^{-1}}$$

Ahora, se procede a calcular la concentración de amoniaco en el efluente, la cual estará expresada en la concentración de amoniaco en el afluente, C_o :

$$C_e = e^{(-K_T \times t)} \times C_o$$

$$\mathbf{C_e = e^{(-0,4304 \times 1,81)} \times C_o}$$

✚ Desnitrificación

Constante dependiente de la temperatura

$$K_T = 1,00(1,15)^{(T-20)} d^{-1}$$

$$K_T = 1,00(1,15)^{(21-20)}$$

$$\mathbf{K_T = 1,15 d^{-1}}$$

Finalmente, la concentración de nitratos en el efluente, expresada en la concentración de nitratos en el afluente, C_o :

$$C_{e,NT} = e^{(-K_T \times t)} \times C_o$$

$$C_{e,NT} = e^{(-1,15 \times 1,81)} \times C_o + e^{(-0,4304 \times 1,81)} \times C_o$$

$$C_{e,NT} = 25(e^{(-1,15 \times 1,81)} + e^{(-0,4304 \times 1,81)})$$

$$\mathbf{C_{e,NT} = 14,60 mg/l}$$

- Fósforo total, PT:

$$C_{e,PT} = e^{\left(-\frac{K_p}{100 \times \frac{Q}{A_s}}\right)} \times C_o$$

$$C_{e,PT} = e^{\left(-\frac{2,74}{100 \times \frac{20,10}{128}}\right)} \times 3,27$$

$$C_{e,PT} = 2,75 \text{ mg/l}$$

- ✓ Paso 11.- Número de macrófitas requeridas para la instalación

En la zona de tratamiento del humedal propuesto, se sembrarán dos distintos tipos de macrófitas, la tatora y la caña de guadua; serán sembradas, con 1 m de separación entre cada una de ellas. Se ubicarán las macrófitas de tatora a partir de la zona inicial del humedal y las de caña de guadua, después del sembrío de totoras. A continuación, se presenta el caculo realizado para conocer la cantidad total de macrófitas a sembrar, en el humedal propuesto:

$$N_v = \left(\frac{L}{d_{M-M}} - 2\right) \left(\frac{W}{d_{M-M}} - 2\right)$$

$$N_v = \left(\frac{8}{1} - 2\right) \left(\frac{16}{1} - 2\right)$$

$$N_v = 84 \text{ macrófitas}$$

La cantidad de macrófitas requerida para el humedal de flujo subsuperficial horizontal es de 84, las cuales 48 macrófitas son de caña de guadua y 36 son de tatora.

A continuación, se muestra la Tabla 34 que detalla las dimensiones del humedal de diseño y las concentraciones de los contaminantes de las aguas residuales en el efluente.

Tabla 34. Resumen del diseño del humedal de flujo subsuperficial.

Dimensiones del humedal artificial			
Largo, L:	8,00	m	
Ancho, W:	16,00	m	
Profundidad, y:	0,75	m	
Área, As:	128,00	m ²	
Volumen, V:	96,00	m ³	
Dimensiones de cada celda de humedal			
Número de celda, N:	4,00	-	
Número de macrófitas emergentes	84,00	-	
Largo, L:	8,00	m	
Ancho, Wcelda:	4,00	m	
Profundidad, y:	0,75	m	
Área, As:	32,00	m ²	
Volumen, V:	24,00	m ³	
Parámetros	Concentración afluente	Concentración efluente	Límite máximo permisible
Demanda Química de oxígeno, D.Q.O, mg/l:	400,82	88,18	250
Demanda Bioquímica de Oxígeno, D.B.O5, mg/l:	141,84	17,06	100
Fósforo total,P, mg/l:	3,27	2,75	10
Sólidos suspendidos totales,SST, mg/l:	50,85	6,50	100
Nitrógeno total, NT, mg/l:	25,00	14,60	15
Coliforma fecales, nmp/100 ml:	24000,00	720,00	Remoción > al 99,9 %

5.5.4 Diseño del canal rectangular

El canal rectangular tiene como objetivo almacenar las aguas residuales tratadas, provenientes del humedal artificial del flujo subsuperficial. Por ello, como a lo largo del humedal artificial el caudal de entrada no será igual al caudal de salida, para el diseño del canal rectangular se considerará el caudal efluente; es decir, el caudal tratado por el humedal. A continuación, se muestran los datos de entrada:

Tabla 102. Datos para el diseño del canal rectangular.

DISEÑO DEL CANAL RECTANGULAR		
Caudal:	0,2326	l/s
	0,0002326	m ³ /s
Ancho del canal,B:	0,30	m
Rugosidad de maning,n:	0,013	-
Pendiente:	0,30	%

- **Altura de agua del canal, y:**

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

$$\frac{Q \times n}{S^{\frac{1}{2}}} = (by) \left(\frac{by}{b + 2y} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$\frac{0,0002326 \times 0,013}{(0,003)^{\frac{1}{2}}} = (0,3y) \left(\frac{0,3y}{0,3 + 2y} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$y = 0,00583 \text{ m} \rightarrow \mathbf{0,6 \text{ cm}}$$

La lámina del agua del canal es muy pequeña, por lo tanto, se va asumir la misma altura del humedal de flujo subsuperficial, que es de 75 cm, con la finalidad de evitar que las aguas tratadas sean contaminadas por los materiales granulares que soportan de manera lateral al canal.

- **Área de la sección transversal de canal:**

$$A = b \times h$$

$$A = 0,3 \times 0,75$$

$$A = 0,23 \text{ m}^2$$

A continuación, se muestra el resumen de las dimensiones del canal rectangular.

Tabla 110. Resumen del diseño del canal rectangular.

DISEÑO DEL CANAL RECTANGULAR		
Caudal:	0,2326	l/s
	0,0002326	m ³ /s
Ancho del canal, B:	0,30	m
Rugosidad de maning, n:	0,013	-
Pendiente:	0,30	%
Dimensiones del canal		
Espesor, e:	0,12	m
Ancho del canal, B:	0,3	m
Altura de la lámina de agua, y:	0,01	m
Altura del canal	0,75	m

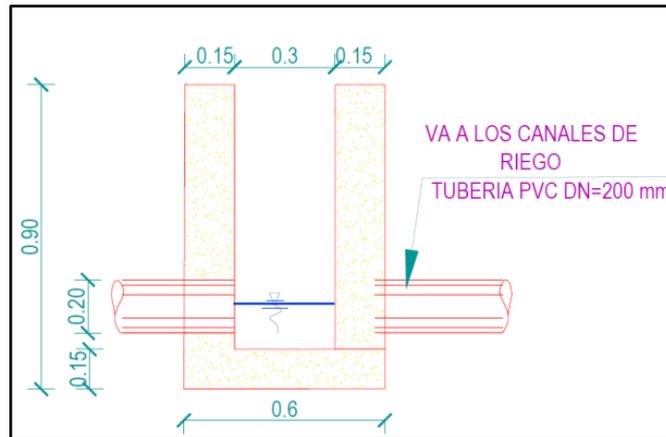


Ilustración 27. Detalle del canal rectangular.

A continuación, se muestra la ilustración N°28, que presenta el detalle de la sección longitudinal del humedal de diseño.

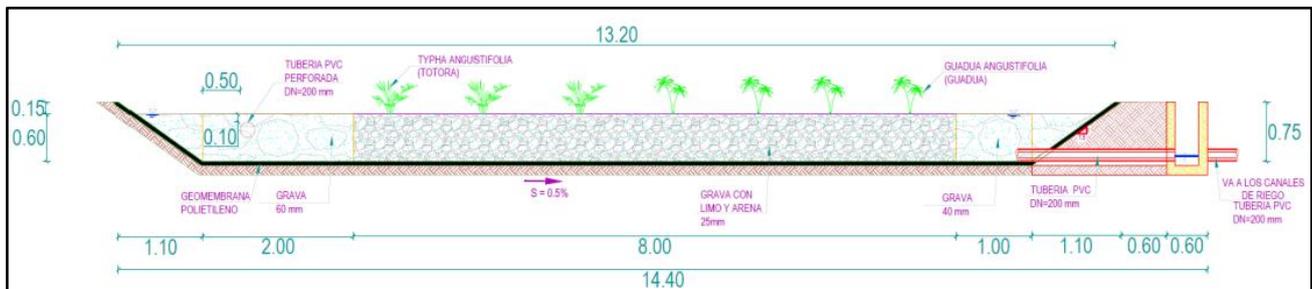


Ilustración 28. Detalle de la sección transversal del humedal de diseño.

5.6 Medición de caudales en la planta de tratamiento

Para la medición de los caudales presentes en la cámara de rejillas y en el humedal de flujo subsuperficial, se optó por diseñar dos vertederos de forma rectangular con cresta delgada con contracciones. Estos vertederos se construirán con una placa de acero de espesor ½ pulgada, que presenta las siguientes dimensiones:

- **Cámara de rejillas**

El objetivo de construir un vertedero, es medir el caudal del efluente presente en la cámara de rejillas, y evitar así, que algunos sólidos o el material granular pueda ingresar en los tanques sépticos. El vertedero rectangular con cresta delgada, tiene las siguientes dimensiones:

- ✓ **Ancho, B:** 35 cm.
- ✓ **Altura del vertedero:** 26 cm.
- ✓ **Longitud de la cresta, L:** 21 cm.
- ✓ **Número de contracción, n:** se considerarán dos contracciones laterales de 7 cm de cada lado.
- ✓ **Altura del umbral, P:** es de 10 cm.
- ✓ **Carga, H:** es la diferencia entre la lámina de agua y la altura del umbral.

A continuación, se muestra de forma detallada el vertedero rectangular metálico, con espesor de ½ pulgada.

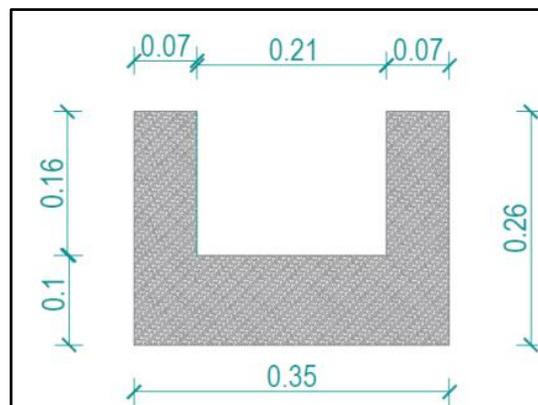


Ilustración 29. Detalle del vertedero metálico.

- **Humedal artificial:**

El vertedero rectangular con cresta delgada se ubicará en el canal rectangular del humedal, y presentará las siguientes dimensiones:

- ✓ **Ancho, B:** 30 cm.
- ✓ **Altura del vertedero:** 90 cm.
- ✓ **Longitud de la cresta, L:** 18 cm.
- ✓ **Número de contracción, n:** se considerará dos contracciones laterales de 6 cm de cada lado.
- ✓ **Altura del umbral, P:** 15 cm.
- ✓ **Carga, H:** es la diferencia entre la lámina de agua y la altura del umbral, dando como resultado, un valor de 1 cm.

A continuación, se muestra detalladamente el vertedero rectangular metálico con ½ pulgada de espesor.

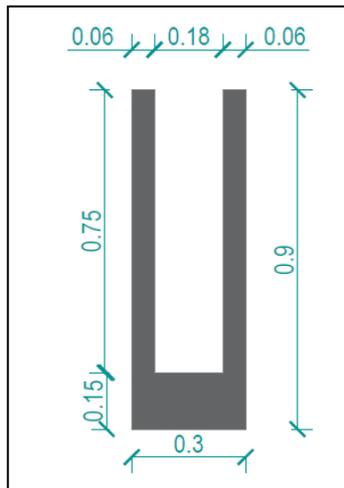


Ilustración 30. Detalle del vertedero metálico.

Para calcular el caudal en los vertederos, en primer lugar, se debe hallar el coeficiente de descarga, C_D , a través de la fórmula de Hégly:

$$C_D = \left[0,6075 - \left(0,045 \times \frac{B-L}{B} \right) + \frac{0,00405}{H} \right] \left[1 + \left(0,55 \times \left(\frac{L}{B} \right)^2 \right) \left(\frac{H}{H+P} \right)^2 \right]$$

Como la lámina de agua del vertedero es muy pequeño, se va a considerar un coeficiente promedio de 0,63. Finalmente, se procede a calcular el caudal en el vertedero mediante la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{2}{3} C_D \times b \times \sqrt{2g} \times H^{1/2}$$

Para medir el caudal en la cámara de rejillas, se colocará una cinta métrica a una distancia de 60 cm desde la parte inferior del largo del canal. Así podremos conocer la altura de la lámina de agua, que pasa a través del vertedero rectangular de cresta delgada, lo que permite calcular su descarga. A su vez, se colocará una cinta métrica a una distancia de 50 cm antes del tubo ubicado para el efluente, en el canal rectangular del humedal de diseño. Para conocer los valores de los caudales. véase en Anexo 3.

CAPITULO VI

6.1 Presupuesto

El presupuesto del proyecto para el diseño del sistema de alcantarillado sanitario para la comunidad “El Prado”, contiene la descripción de todos los rubros necesarios para determinar el costo total y su viabilidad. En la ilustración número 31 se desglosa los rubros con sus respectivas unidades y precios. Los precios propuestos fueron obtenidos mediante la Cámara de Construcción.

PRESUPUESTO REFERENCIAL

PROYECTO:	DISEÑO DEL SISTEMA DE ALICANTARILLADO SANITARIO PARA LA COMUNIDAD EL PRADO.
LOCALIZACIÓN	CANTÓN DAULE, PROVINCIA DEL GUAYAS.
OFERENTE:	JOSELYN CUJILEMA
FECHA:	1/9/2021

RUBRO	DESCRIPCIÓN DE RUBROS	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO US\$	COSTO TOTAL US\$
1	ALICANTARILLADO SANITARIO				
2	Replanteo y Nivelación	ml	942,60	1,25	1178,25
3	Excavación con maquinaria para tubería	m3	280,14	4,10	1148,57
4	Excavación manual 0,00 a 2,80 m para tubería	m3	80,17	7,18	575,62
5	Desalojo de material	m3	299,50	2,30	688,85
6	Relleno compactado con material de sitio	m3	60,80	3,20	194,56
7	Relleno compactado con material mejorado	m3	40,53	4,60	186,44
8	Colchón de arena para colocación de tubería	m3	20,27	15,00	304,05
9	Provisión e instalación de tuberías PVC D=160 mm	ml	2.738,80	12,15	33276,42
10	Provisión e instalación de tuberías PVC D=200 mm	ml	35,00	15,80	553,00
12	Prueba de estanqueidad en tubería	ml	942,60	1,90	1790,94
13	Construcción de pozo de revisión de AASS hasta 2,50 m f'c= 210 kg/cm ²	u	11,00	7958,35	87541,85
14	Tapa y cerco H.F. para poozos	u	120,00	46,50	5580,00
15	Cajas domiciliarias (Tubo de PVC incluido tapa) hasta 1,5 m	u	120,00	125,35	15042,00
	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS				
	CAMARA DE REJILLA				
16	Limpieza de terreno manual	m2	2,70	1,30	3,51
17	Replanteo y nivelación	ml	4,00	1,25	5,00
18	Excavación a mano a cielo abierto (en tierra)	m3	1,52	8,15	12,39
19	Hormigón simple f'c= 170 kg/cm ²	m3	0,36	116,35	41,89
20	Encofrado/dsencofrado	m2	1,23	11,25	13,84
21	Acero refuerzo fy=4200 kg/cm ² (suminitro, corte y colocado)	Kg	35,20	1,80	63,36
22	Rejilla varilla de 150 mm y ángulo (provisión y montaje)	u	1,00	65,12	65,12
23	Vertedero metálico e=1/2 plg, ancho=100 cm y largo=300 cm	u	1,00	67,25	67,25
	TANQUE SÉPTICO				
24	Replanteo y nivelación	m2	58,20	1,25	72,75
25	Limpieza de terreno manual	m2	60,20	1,30	78,26
26	Excavación a mano a cielo abierto (en tierra)	m3	34,00	8,15	277,10
27	Relleno compactado con material mejorado	m3	3,20	4,60	161,69
28	Desalojo de material	m3	35,15	2,30	80,85
29	Acero refuerzo fy=4200 kg/cm ² (suminitro, corte y colocado)	Kg	3950,00	1,80	7110,00
30	Encofrado/dsencofrado	m2	253,00	11,25	2846,25
31	Hormigón simple f'c= 240 kg/cm ²	m3	3,26	126,80	413,37
32	Tubería Tee PVC 200 mm	u	2,00	7,50	15,00
33	Tapa H.A 0,6x0,6 m/kg/cm ²	u	2,00	19,50	39,00

RUBRO	DESCRIPCIÓN DE RUBROS	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO US\$	COSTO TOTAL US\$
	HUMEDAL ARTIFICIAL				
34	Replanteo y nivelación de la estructura	m2	576,00	1,05	604,80
35	Limpieza de terreno manual	m2	576,00	1,30	748,80
36	Excavación a mano a cielo abierto (en tierra)	m3	175,35	8,15	1429,10
37	Desalojo de material	m3	155,10	2,30	356,73
38	Geomembrana polietileno 1,00 mm	m2	20,50	4,80	98,40
39	Grava para filtros espesor de 60 mm, incluye material, transporte e	m3	76,50	19,25	1472,63
40	Grava para filtros espesor de 40 mm, incluye material, transporte e	m3	240,00	19,00	4560,00
41	Grava con limo y arena para filtros espesor de 25 mm, incluye material, transporte e instalación	m3	31,50	20,15	634,73
42	Tubera PVC perforada DN 200 mm, incluye material, transporte e	u	7,00	10,10	70,70
43	Tee PVC 200 mm desague, incluye material, transporte e instalación	u	2,00	7,10	14,20
44	Tubera PVC DN 200 mm, incluye material, transporte e instalación	u	25,00	9,80	245,00
46	Plantación de plantas nativas, transporte	u	84,00	0,55	46,20
TOTAL					169708,45

Ilustración 31. Presupuesto referencial del diseño de la obra.

Presupuesto Total: Ciento Sesenta y Nueve Mil Setecientos y Ocho Con Cuarenta y Cinco Centavos.

Por lo tanto, se requiere \$169.708,89 para llevar a cabo el proyecto de Diseño del sistema de alcantarillado sanitario en la comunidad “El Prado” perteneciente al Cantón Daule, Provincia del Guayas. De esta manera se cumplirá con las necesidades de los habitantes de dicha comunidad, otorgándoles un ambiente libre de enfermedades y, además, la reutilización del agua en canales de riego para los cultivos.

CONCLUSIONES

El diseño de las redes de alcantarillado sanitario se divide en tres; red primaria, red secundaria y red terciaria. La red primaria consta de tuberías de PVC 160 mm de diámetro desde el PZ.1 hasta PZ. 7 y PZ.7 hasta PZ. 11 , de 200 mm de diámetro desde el PZ. 11 hasta la PTAR propuesta. A diferencia de la red secundaria y terciaria que constan de tuberías de PVC con diámetros de 160 mm.

Los colectores del sistema de alcantarillado sanitario adoptado, cumplen con los criterios de la norma ecuatoriana CPE INEN 5 con pendientes, velocidades, relaciones hidráulicas Q/Q_0 y esfuerzos cortantes, de esta manera prevenir inconvenientes futuros, durante la vida útil del proyecto como lo son; los malos olores o el taponamiento del sistema.

El diseño de la planta de tratamiento para la comunidad "El Prado" se basa en cálculos hidráulicos y comportamientos biológicos, debido a esto, no se enfoca en el diseño estructural de los mismos. La planta de tratamiento consta de un pretratamiento, un tratamiento primario y otro secundario. El pretratamiento consta de una cámara de reja con el objetivo de retener gran cantidad de sólidos disueltos.

El tratamiento primario que consideró fue dos tanques sépticos, donde cada una de ellas fue diseñada para una población futura de 287 habitantes y como tratamiento secundario se consideró dos humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal, las cuales se conectan a cada uno de los tanques sépticos. De esta manera se obtiene la óptima eficiencia de depuración de las aguas residuales.

Cada tratamiento ha sido diseñado de acuerdo a los criterios y fórmulas fundamentadas por varios autores, con el fin de garantizar un alto porcentaje de depuración de los contaminantes de las aguas residuales y a la vez cumplir con los parámetros señalados en la norma TULSMA ANEXO I LIBRO VI para su reutilización en los cultivos de arroz.

La cantidad de concentración de los contaminantes de las aguas residuales en el efluente de la planta de tratamiento diseñada, será de: 17.06 mg/l de Demanda Bioquímica de Oxígeno (remoción 93%), 88.18 mg/l de Demanda Química de Oxígeno (remoción 78%), 2.72 mg/l de fósforo (remoción 29%), 6.50 mg/l de sólidos suspendidos (remoción 94%), 14.60 mg/l de nitrógeno (remoción 42%) y 720,00 nmp/100 ml de coliformes fecales (remoción 99%). Las concentraciones pueden ser menores, pues dependerán del mantenimiento de la planta de tratamiento y la eficiencia de depuración por parte de las plantas macrófitas sembradas en los humedales de flujo subsuperficial horizontal. Por otra parte, la eficiencia de depuración de la planta de tratamiento diseñada puede remover contaminantes como grasas y aceites en un 75%.

El costo total del proyecto es de \$169.708,89 (Ciento sesenta y nueve mil setecientos y ocho con cuarenta y cinco centavos.). De esta manera se tiene un enfoque dirigido al mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes, la reutilización del agua en canales de riego para los cultivos, eliminación de olores y plagas durante la época de invierno.

RECOMENDACIONES

- Ejecutar la parte constructiva del Sistema de tratamiento en temporadas de verano, evitando el retraso de la obra debido al aumento del nivel freático.
- Proponer el diseño estructural de la planta de tratamiento.
- Regir la construcción de la Planta de Tratamientos y redes de alcantarillo, de acuerdo al diseño hidráulico y estructural.
- Realizar un estudio de mercado y precios unitarios de los materiales del sector para la obtención del costo real total del proyecto.
- Elaborar un manual de mantenimiento y operación de las redes de alcantarillado y planta de tratamientos para un mejor desempeño del proyecto.
- Realizar el mantenimiento periódico de las redes de alcantarillado y planta de tratamiento.
- Sembrar las plantas emergentes y podarlas de manera correcta en los humedales artificiales, garantizando la eficiencia de depuración en las aguas residuales.
- Para la operación y el mantenimiento de la planta de tratamiento propuesta, se deberá contratar personal calificado o capacitar a las personas del sector, para ejecutar su funcionamiento correctamente, previendo daños en el sistema y contaminación en el medio ambiente.
- Realizar análisis físicos-químicos mensuales al agua residual tratada, constatando si los niveles de concentración se encuentran dentro del rango permisible.
- Capacitar a la población sobre el cuidado, la recuperación, la protección y la conservación de los humedales artificiales.
- Realizar la limpieza periódica de las rejillas, evitando la obstrucción del flujo que ingresa e incluso el daño de los tratamientos posteriores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asamblea Nacional. (04 de Noviembre de 2015). Obtenido de NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES : RECURSO AGUA: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>
- CEDEÑO PARRALES, J. A. (2016). Proyecto de Grado. *“DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO DE RECOLECCIÓN DE AGUAS SERVIDAS Y PLANTA DE TRATAMIENTO PARA BENEFICIO DE LOS HABITANTES DEL RECINTO EL PRADO”*. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- civilgeeks.com . (7 de Octubre de 2010). *Ingengería y Construcción* . Obtenido de Dotación en sistema de agua potable: <https://civilgeeks.com/2010/10/07/dotacion-sistema-de-agua-potable/>
- Clean WaterWays. (2016). *Controlando la descarga combinada de alcantarillado con separación de alcantarilla*. Recuperado el 04 de mayo de 2021, de https://static1.squarespace.com/static/586ac3cbbefafbc7473feb31/t/5bda1fe08a922d1e35782515/1541021664880/separated_sewers_032918_SPAN.pdf
- Comisión Nacional del Agua. (17 de Junio de 2021). *Agua.org.mx*. Recuperado el 24 de Agosto de 2021, de Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Humedales Artificiales: <https://agua.org.mx/biblioteca/manual-de-agua-potable-alcantarillado-y-saneamiento-diseno-de-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-municipales-humedales-artificiales/>
- concepto. (25 de Septiembre de 2019). Obtenido de Tratamiento de aguas residuales: <https://concepto.de/tratamiento-de-aguas-residuales/#:~:text=Pretratamiento%20de%20aguas%20residuales,-En%20la%20etapa&text=El%20pretratamiento%20o%20tratamiento%20primario,purificaci%C3%B3n%20de%20las%20aguas%20residuales.>
- Cortés, F., Treviño, A., & Tomasini, A. (2017). *Dimensionamiento de lagunas de estabilización*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Obtenido de Dimensionamiento de lagunas de estabilización.
- Cosín, C. (2018). *Aguas residuales industriales. El modelo de outsourcing para*

- su gestión. Almar Water Sciences . Recuperado el 04 de mayo de 2021, de <https://www.iagua.es/blogs/carlos-cosin/aguas-residuales-industriales-modelo-outsourcing-gestion>
- Dávila, J. d. (Febrero de 2013). *MEMORIA TÉCNICA DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL DE LA COMUNIDAD DE SANTA ROSA DE MANDURIACU, PARROQUIA GARCIA MORENO, CANTÓN COTOCACHI, PROVINCIA DE IMBABURA*. . Obtenido de file:///C:/Users/JOSE/Downloads/7151427.pdf
- El Universo. (20 de Diciembre de 2020). *El Universo*. Obtenido de El Universo: <https://www.eluniverso.com/noticias/2020/12/20/nota/8409829/agua-servicios-basicos-ecuador/>
- EMAAP-Q. (2009). *Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable*. Recuperado el 16 de Agosto de 2021, de Normas de diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q: http://www.ecp.ec/wp-content/uploads/2017/08/NORMAS_ALCANTARILLADO_EMAAP.pdf
- Espadas, A., Garcia Sosa , J., & Castillo Borgues , E. (2007). *Redes de alcantarillado sin arrastre de sólidos: Una alternativa para la ciudad de Mérida, Yucatán, México*. Mérida. Recuperado el 04 de mayo de 2021, de <https://www.redalyc.org/pdf/467/46711107.pdf>
- Eva. (2 de Noviembre de 2020). *Plantas & Jardín*. Recuperado el 16 de Agosto de 2021, de Typha angustifolia, la Totora: <https://plantasyjardin.com/2020/11/typha-angustifolia-la-totora/>
- Fonseca, C. (Diciembre de 2010). *Diseño de Humedal Construido para el tratar los lixiviados del Proyecto de Relleno Sanitario de Pococí*. Pococí, Costa Rica. Recuperado el 24 de Agosto de 2021, de <https://core.ac.uk/download/pdf/61000588.pdf>
- GAD Parroquial Rural de Limonal. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Rural de Limonal 2015-2025*. Guayaquil .
- García, T. (2005). *Repositorio Uniandes*. Obtenido de Diseño,. Construcción y evaluación preliminar de un humedal de flujo subsuperficial. : <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/8894/u263497.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Google Earth. (2021).
- Gordillo, E. (2011). *DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO*

- SANITARIO, PLUVIAL Y TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS EN EL BARRIO EL PARAISO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.* PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR, Quito. Recuperado el 03 de mayo de 2021, de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/6400/9.20.001312.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Guadua Bamboo. (23 de Diciembre de 2019). Recuperado el 16 de Agosto de 2021, de ¿Qué es la Guadua angustifolia?: <https://www.guaduabambu.com.co/blog/que-es-la-guadua-angustifolia>
- Guevara, G., & Verdesoto, A. &. (2020). *Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción)*. Babahoyo: Saberes del Conocimiento.
- Guía para el Diseño Hidráulico de Redes de Alcantarillado . (s.f.).
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la Investigación* . Mexico : McGRAW-HILL.
- Herrera, Steeven. (17 de Septiembre de 2020). *EMAPA EP Daule*. Obtenido de EMAPA EP Daule: <https://www.emapadaule.gob.ec/web/category/beneficios/>
- Hidraulica. (12 de Mayo de 2012). *Curso Hidraulica*. Obtenido de PROPIEDAD GEOMÉTRICA DE CANALES: <http://hidraulicaucentral.blogspot.com/2012/05/variables-y-fenomenos-hidraulicos.html>
- Hubbell, J. (1962). *Cargas de aguas residuales comerciales e institucionales* (Vol. 34). Recuperado el 04 de mayo de 2021, de <https://www.jstor.org/stable/25034696?seq=1>
- INEN. (1992). INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. *NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES* . Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- INEN. (1997). Código Ecuatoriano de la Construcción (C.E.C) diseño de instalaciones sanitarias. *Código de práctica para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural*. Guaquil, Guayas, Ecuador.
- Isaura, M. (1989). Depuración de aguas con plantas emergentes. *Hojas*

- divulgadoras*(16), 1-24. Recuperado el 24 de 08 de 2021, de https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1989_16.pdf
- KLARO. (2018). *Soluciones individuales de aguas residuales para hasta 750 m³ / d.* Suiza. Recuperado el 04 de Mayo de 2021, de https://en.klaro.eu/fileadmin/files/Broschueren_2018/111-EN-0718_KLARO_Grosse_Anlagen-Mail.pdf
- Lárraga, B. (2016). *Repositorio PUCE.* Obtenido de http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13464/BOL%C3%8DVAR%20PATRICIO%20L%C3%81RRAGA%20JURADO_.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Lavayen, A. B. (2021). Sistema de alcantarillado sanitario en la comunidad "El Prado". (J. Cujilema, Entrevistador) Telefonía . Daule.
- Llagas, W., & Guadalupe, E. (2006). Diseño de humedales ar Diseño de humedales ar Diseño de humedales artificiales par iciales par iciales para el tr a el tr a el tratamiento de aguas r de aguas r de aguas residuales en la esiduales en la esiduales en la UNMSM. *Instituto de Investigaciones FIGMMG, 15*(17), 85-96. Recuperado el 12 de Agosto de 2021, de https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol9_n17/a11.pdf
- López, R. (2003). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados* (Segunda Edición ed.). Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería. Recuperado el 03 de mayo de 2021
- López, R., & Silva, M. (2016). *Diseño de la red de alcantarillado sanitario del B Tierra Pormetida de la ciudad de Managua.* Managua. Recuperado el 04 de mayo de 2021, de <https://core.ac.uk/download/pdf/94852697.pdf>
- Marínez, D. (5 de Febrero de 2021). *Agronegocios e Industria de alimentos.* Recuperado el 16 de Agosto de 2021, de Las propiedades y usos de la guadua: <https://agronegocios.uniandes.edu.co/2021/02/05/las-propiedades-y-usos-de-la-gadua/>
- Márquez, M. (2020). *DISEÑO Y MODELACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA LOTIZACIÓN LAS MERCEDES, PERTENECIENTE AL CANTÓN GUAYAQUIL.* universidad Católica Santiago de Guayaquil , Guayaquil . Recuperado el 03 de mayo

de 2021, de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/14432/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-349.pdf>

Márquez, M. (26 de Febrero de 2020). DISEÑO Y MODELACIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA LOTIZACIÓN LAS MERCEDES, PERTENECIENTE AL CANTÓN GUAYAQUIL UBICADO EN KM 24 VÍA DAULE, PROVINCIA DEL GUAYAS. Guayaquil, Guayas, Ecuador.

Martinez, E. (2016). *Tipos de alcantarillado sanitario*. La Paz . Recuperado el 04 de mayo de 2021

Nogales, S., & Quispe, D. (2009). *MATERIAL DE APOYO DIDÁCTICO DE "DISEÑO Y MÉTODOS CONSTRUCTIVOS DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO Y EVACUACIÓN DE AGUAS RESIDUALES"*. Cochabamba.

OMS. (14 de Junio de 2019). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>

OPS/CEPIS/05.163 & UNATSABAR. (2005). Obtenido de GUÍA PARA EL DISEÑO DE TANQUES SÉPTICOS, TANQUES IMHOFF Y LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN: https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005.%20Gu%C3%ADa%20para%20el%20dise%C3%B1o%20de%20tanques%20s%C3%A9pticos.pdf

Párraga, A. &. (2020). *Propuesta de creación de ruta gastronómica que comprende los cantones de Daule, Salitre y Samborondón de la provincia del Guayas*. Guayaquil.

Pérez, R. (2013). *Diseño y construcción de alcantarillados sanitario, pluvial y drenaje en carreteras* (1 ed.). Bogotá, Colombia . Recuperado el 03 de mayo de 2021, de <https://books.google.com.ec/books?id=Gtw3DgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=que+es+un+sistema+de+alcantarillado&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjN1vC2067wAhXQGVkFHSW2CSIQ6AEwA3oECAQQAg#v=onepage&q=que%20es%20un%20sistema%20de%20alcantarillado&f=false>

Pinzón, K. (2016). *Sistemas convencionales y no convencionales de alcantarillado*. Recuperado el 03 de mayo de 2021

- Quiroz, J. (13 de Noviembre de 2006). Recuperado el 16 de Agosto de 2021, de ¿QUE ES UN SISTEMA BIOTICO?: <http://peipo18.blogspot.com/2006/11/que-es-un-sistema-biotico.html>
- Rabat, J. (Junio de 2016). *Repositorio Institucional de la Universidad de Alicante*. Obtenido de Análisis de los modelos de diseño de los sistemas naturales de depuración: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/57213/1/Analisis_de_los_modelos_de_diseño_de_los_sistemas_na_Rabat_Blazquez_Jorge.pdf
- Romero, J. (2004). *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y Principios de Diseño*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- SENAGUA. (s.f.). Norma CO 10.7-602- Revisión. *NORMA DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, DISPOSICIÓN DE EXCRETAS Y RESIDUOS LÓQUIDOS EN EL ÁREA RURAL*. Guayaquil, Guayas, Ecuador.
- SIAPA. (2014). *Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado*. Recuperado el 03 de mayo de 2021, de https://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/capitulo_3._alcantarillado_
- UNESCO. (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos*. Fontenoy. Recuperado el 03 de mayo de 2021, de <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002476/247647s.pdf>
- Universia mx. (236 de Marzo de 2020). Obtenido de Universia mx: <https://www.universia.net/mx/actualidad/habilidades/conceptos-fundamentales-metodologia-investigacion-1167677.html>
- USGS. (2021). *Wastewater Treatment Water Use*. USGS. Recuperado el 03 de mayo de 2021, de https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/wastewater-treatment-water-use?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects
- Yáñez, M. (13 de Septiembre de 2018). *Repositorio UCSG*. Obtenido de Evaluación de la eficiencia del sistema Tratamiento Primario Químicamente Mejorado (CEPT, Chemically Enhanced Primary Treatment), para aguas residuales de Guayaquil: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/11234/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-270.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Formato de la entrevista

FORMATO DE ENTREVISTA

Esta entrevista va dirigida a los dirigentes de la comunidad “El Prado”.

Preguntas:

- 1) ¿Cuántos habitantes aproximadamente hay en la comunidad?
La comunidad “El Prado” tiene aproximadamente 300 habitantes.
- 2) ¿Cuáles son las actividades comerciales que se dedica la población?
Los habitantes de la zona se dedican únicamente a la producción de arroz.
- 3) ¿Cómo está organizado la comunidad?
La comunidad cuenta con una directiva y un dirigente, que fueron elegidos mediante votaciones. La directiva se encarga de la cooperativa de producción “Alianza Definitiva”, fundada el 29 de abril 1972 con personería jurídica mediante acuerdo ministerial No. 1872.
- 4) ¿De qué material están construida las viviendas de su comunidad y de cuántos pisos son la mayoría?
La mayoría de las viviendas de la comunidad son de hormigón. Alrededor de un 15% de las viviendas son mixtas (hormigón y madera).
Por otra parte, la mayoría de las viviendas son de un piso y alrededor de un 30% son de dos pisos.
- 5) ¿Cuáles son los usos de las viviendas de la comunidad?
La gran parte son de uso vivienda y alrededor de 7 viviendas son de uso comercial y solo hay una pequeña parte destinada al uso institucional.
- 6) ¿Cuáles son los servicios que cuentan la comunidad?
La comunidad cuenta con el servicio de agua potable, servicio eléctrico y el servicio de recolección de basura una vez por semana.
- 7) ¿Cuáles son las fuentes hídricas más cercana a la comunidad?
La comunidad “El Prado” cuenta con dos fuentes hídricas. La primera fuente es proveniente de la empresa EMAPA Daule, que proporciona agua potable a todos los moradores de la comunidad. Esta agua potable la usan para diferentes propósitos tales como: beber, para lavar ropa y

platos, para limpieza del hogar, para preparar los alimentos, para la higiene personal y entre otros. La calidad del agua que recibe la comunidad es muy buena y por eso la usa para diferentes propósitos domésticos.

La otra fuente hídrica es a través de los canales que se encuentran al norte y al sur de la comunidad. La ubicación del primer canal se encuentra al norte a una distancia de 122,30 metros y el segundo está a 118 metros, las cuales fueron medidas desde el centro de la calle principal. El agua de estos canales viene del Río Daule y la utilizan en la agricultura, principalmente para regar cultivos de arroz.

- 8) ¿Cuenta la comunidad con planta de tratamiento de agua potable y a qué kilómetros se encuentra?

La comunidad “El Prado” no cuenta con una planta de tratamiento de agua potable cerca. Esta planta de tratamiento se encuentra a 700 kilómetros del recinto.

- 9) ¿Cómo es la calidad de agua de la comunidad?

La calidad de agua potable es muy buena porque no presenta ni un olor desagradable y su color es transparente. Por este motivo, muchos de los habitantes lo consumen para beber y preparar sus alimentos.

- 10) ¿Posee la comunidad con 100% de cobertura de agua?

Claro que sí, la comunidad cuenta con 100% de cobertura de agua. Rara vez, no hay cobertura, esto se da cuando EMAPA Daule hace limpieza de las tuberías. Antes de llevar a cabo la limpieza, ellos comunican a todas las comunidades el corte de agua con la finalidad que los habitantes almacenen el agua en varios recipientes.

- 11) ¿Tiene la comunidad servicio de agua potable continuo o discontinuo?

La comunidad tiene un servicio continuo de agua potable

- 12) ¿Cuáles son los problemas que tiene la comunidad por no contar con un sistema de alcantarillado sanitario?

La comunidad “El Prado” no cuenta con un sistema de alcantarillado sanitario, por lo tanto, los habitantes riegan el agua en las calles provocando daño en las carreteras lastradas, inundación de terrenos abandonados, crecimientos de malas hierbas y algas, entre otros. Todos estos problemas han ocasionado reproducción de mosquitos, sapos y

enfermedades leves como dengue.

13) ¿De qué manera trata las aguas lluvias?

La comunidad no tiene un tratamiento de aguas lluvias. Estas aguas escurren por los terrenos bajos hasta los sembríos de arroz.

14) ¿Cómo la comunidad maneja las aguas residuales domésticas?

Al no contar con un sistema de alcantarillado sanitario, las aguas negras y grises van directamente al pozo séptico de la vivienda. En cambio, el agua que utilizan para lavar la ropa es lanzada a la carretera o cerca de su vivienda, muchas veces esa agua se acumula en terrenos vacíos y se empoza ahí, causando plagas de mosquitos y crecimiento de malas hierbas. Para evitar que el agua se empoce, los habitantes de la comunidad instalaron tuberías con la finalidad que el agua vaya por la carretera.

15) ¿Cuáles son los problemas que tiene la comunidad con respecto a los pozos sépticos?

Cada vivienda posee alrededor de uno a dos pozos sépticos, los cuales se llenan muy rápido debido al consumo excesivo de agua por parte de los habitantes. La limpieza de cada pozo séptico está aproximadamente a 25 dólares y muchos de los habitantes no cuentan con ese dinero porque la economía de la comunidad está baja. La comunidad se basa en agricultura principalmente en cultivo de arroz. Últimamente, el quintal de arroz está muy bajo alrededor de 24 dólares, en cambio, antes de la pandemia del Covid-19 estaba a 35 dólares. Muchos de nosotros, ganamos aproximadamente 12 dólares diarios, el cual se usa para comprar los alimentos diarios. Por este motivo, la comunidad "El Prado" necesita contar con el servicio de alcantarillado sanitario.

16) ¿Cómo son las carreteras de la comunidad?

Las carreteras de la comunidad son lastradas (de tierra).

Anexo 3. Caudales en los vertederos

✚ Caudales en los vertederos

DATOS DEL VERTEDERO DE LA CÁMARA DE REJILLA		
Cd:	0,64	
b:	0,21	m
g:	9,81	m/s
Fórmula:		
$Q = \frac{2}{3} C_D \times b \times \sqrt{2g} \times H^{3/2}$		

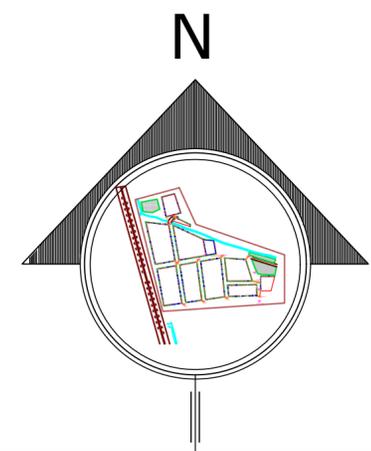
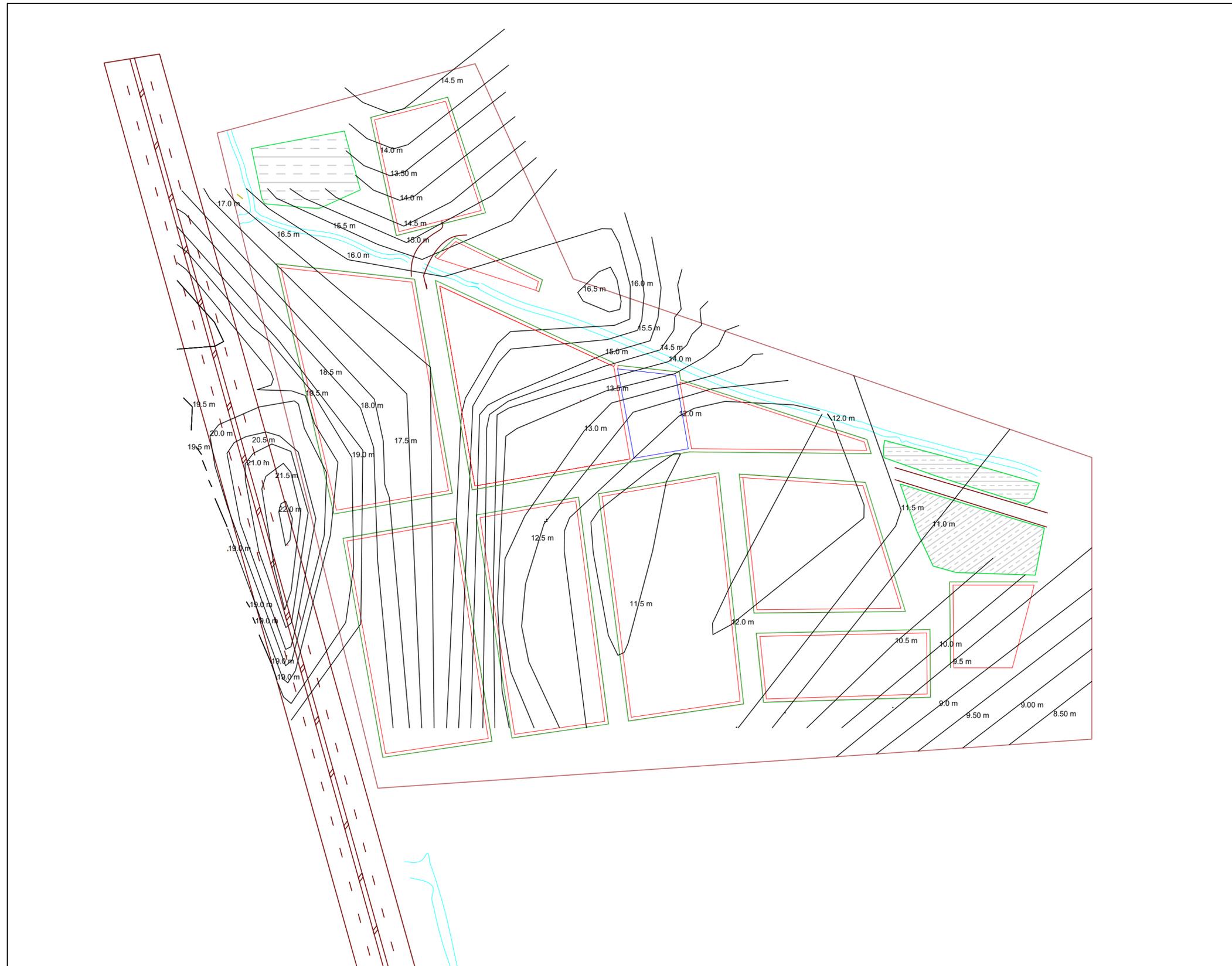
DATOS DEL VERTEDERO DEL CANAL DEL HUMEDAL DE DISEÑO		
Cd:	0,63	
b:	0,18	m
g:	9,81	m/s
Fórmula:		
$Q = \frac{2}{3} C_D \times b \times \sqrt{2g} \times H^{3/2}$		

Vertedero de la cámara de rejilla	
H (m)	Caudal (m ³ /s)
1	0,487
2	0,689
3	0,844
4	0,974
5	1,089
6	1,193
7	1,289
8	1,378
9	1,462
10	1,541
11	1,616
12	1,688
13	1,757
14	1,823
15	1,887
16	1,949
17	2,009
18	2,067
19	2,124
20	2,179
21	2,233
22	2,285
23	2,337
24	2,387
25	2,436
26	2,484

Vertedero del canal del humedal de diseño			
H (m)	Caudal efluente (Qe) (m ³ /s)	H (m)	Caudal efluente (Qe) (m ³ /s)
1	0,335	39	2,091
2	0,474	40	2,118
3	0,580	41	2,144
4	0,670	42	2,170
5	0,749	43	2,196
6	0,820	44	2,221
7	0,886	45	2,246
8	0,947	46	2,271
9	1,005	47	2,296
10	1,059	48	2,320
11	1,111	49	2,344
12	1,160	50	2,368
13	1,207	51	2,391
14	1,253	52	2,415
15	1,297	53	2,438
16	1,339	54	2,461
17	1,381	55	2,483
18	1,421	56	2,506
19	1,460	57	2,528
20	1,498	58	2,550
21	1,535	59	2,572
22	1,571	60	2,594
23	1,606	61	2,615
24	1,641	62	2,637
25	1,674	63	2,658
26	1,707	64	2,679
27	1,740	65	2,700
28	1,772	66	2,720
29	1,803	67	2,741
30	1,834	68	2,761
31	1,864	69	2,782
32	1,894	70	2,802
33	1,924	71	2,822
34	1,953	72	2,841
35	1,981	73	2,861
36	2,009	74	2,881
37	2,037	75	2,900
38	2,064	76	2,919

Ilustración 32. Valores de los caudales de los vertederos metálicos.

Anexo 4. Planos del diseño del sistema de alcantarillado sanitario de la comunidad del Prado.



PROVINCIA: GUAYAS
 CANTÓN: DAULE
 PARROQUIA: LIMONAL

- Sembrio de arroz
- Manzana
- Acera
- Bordillo
- Canal de riego
- Vía principal Daule-Santa Lucía
- Contorno del área de estudio

OBRA:
 Curva de nivel de la comunidad del Prado.

Contiene:
 Curva de nivel de la zona de estudio.

Dibujante:

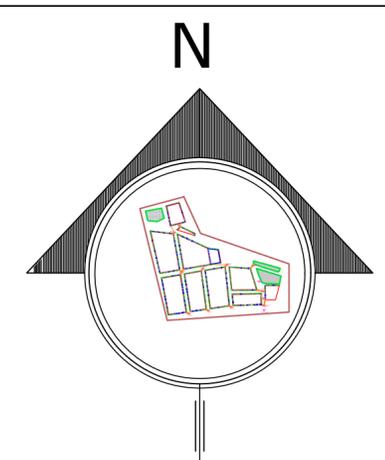
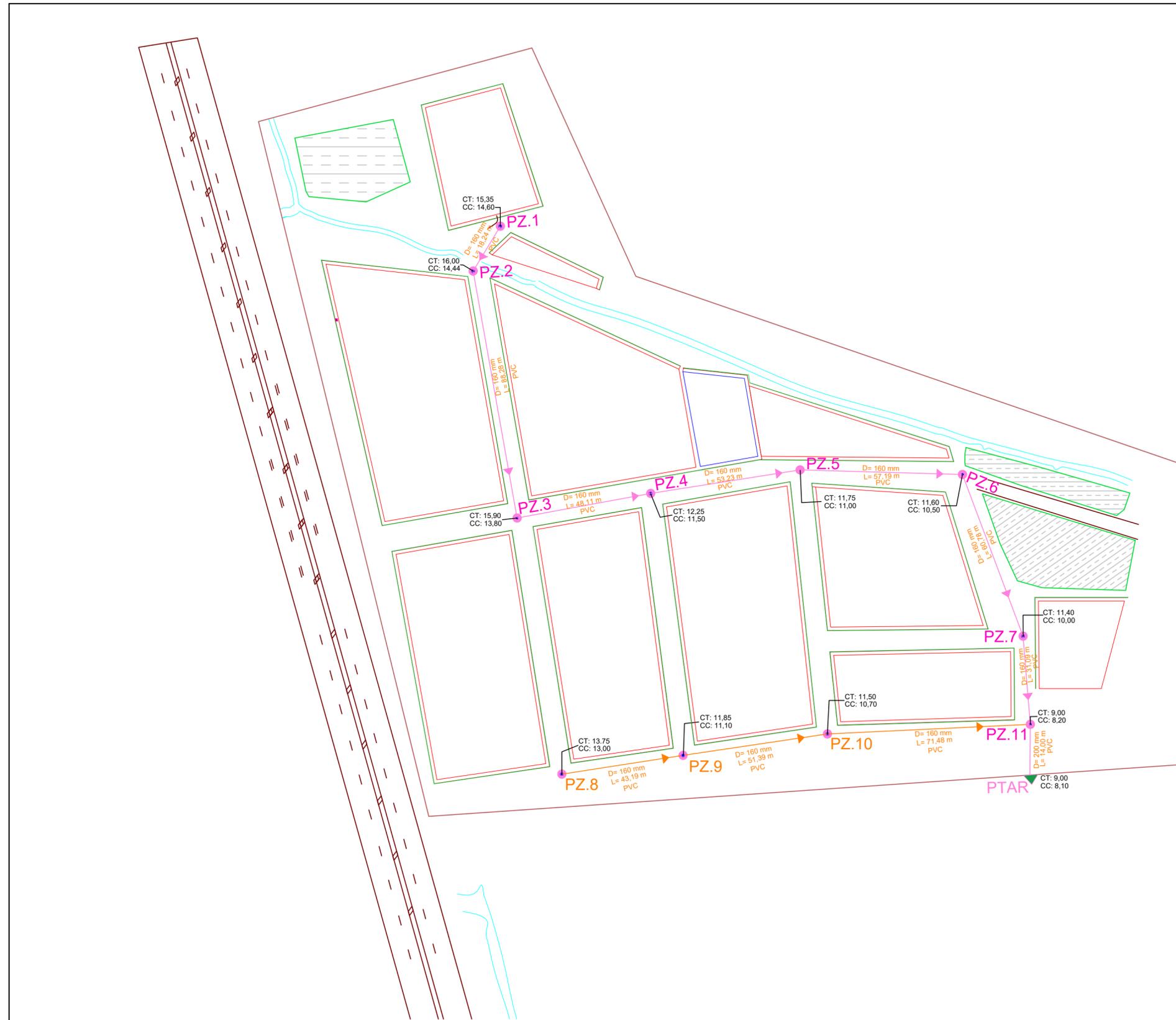
 Josselyn Cujilema

Docente:

 Ing. Clara Glas

Escala:
 1:1000
 Fecha:
 Julio / 2021

Lamina:
 1/6



PROVINCIA: GUAYAS
 CANTÓN: DAULE
 PARROQUIA: LIMONAL

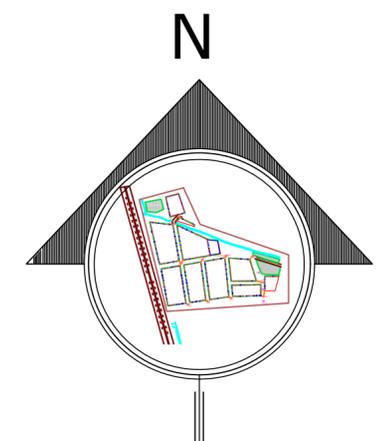
- Sembrío de arroz
- Manzana
- Acera
- Bordillo
- Canal de riego
- Vía principal Daule-Santa Lucía
- Contorno del área de estudio
- Red primaria
- Red secundaria
- Pozo de revisión
- Cancha de fútbol
- Planta de tratamiento aguas residuales

OBRA:
 Red de alcantarillado sanitario de la comunidad del Prado

Contiene:
 Red primaria y secundaria de alcantarillado sanitario.

Dibujante:	Docente:
Josselyn Cujilema	Ing. Clara Glas

Escala: 1:1000	Lamina: 3/6
Fecha: Julio / 2021	



PROVINCIA: GUAYAS
 CANTÓN: DAULE
 PARROQUIA: LIMONAL

- Sembrío de arroz
- Manzana
- Acera
- Bordillo
- Canal de riego
- Vía principal Daule-Santa Lucía
- Red terciaria de AASS
- Caja de revisión
- Conexión de Tubería PVC al pozo de revisión
- Pozo de revisión
- Cancha de fútbol

OBRA:
 Red de alcantarillado sanitario de la comunidad del Prado

Contiene:
 Red terciaria de alcantarillado sanitario

Dibujante:

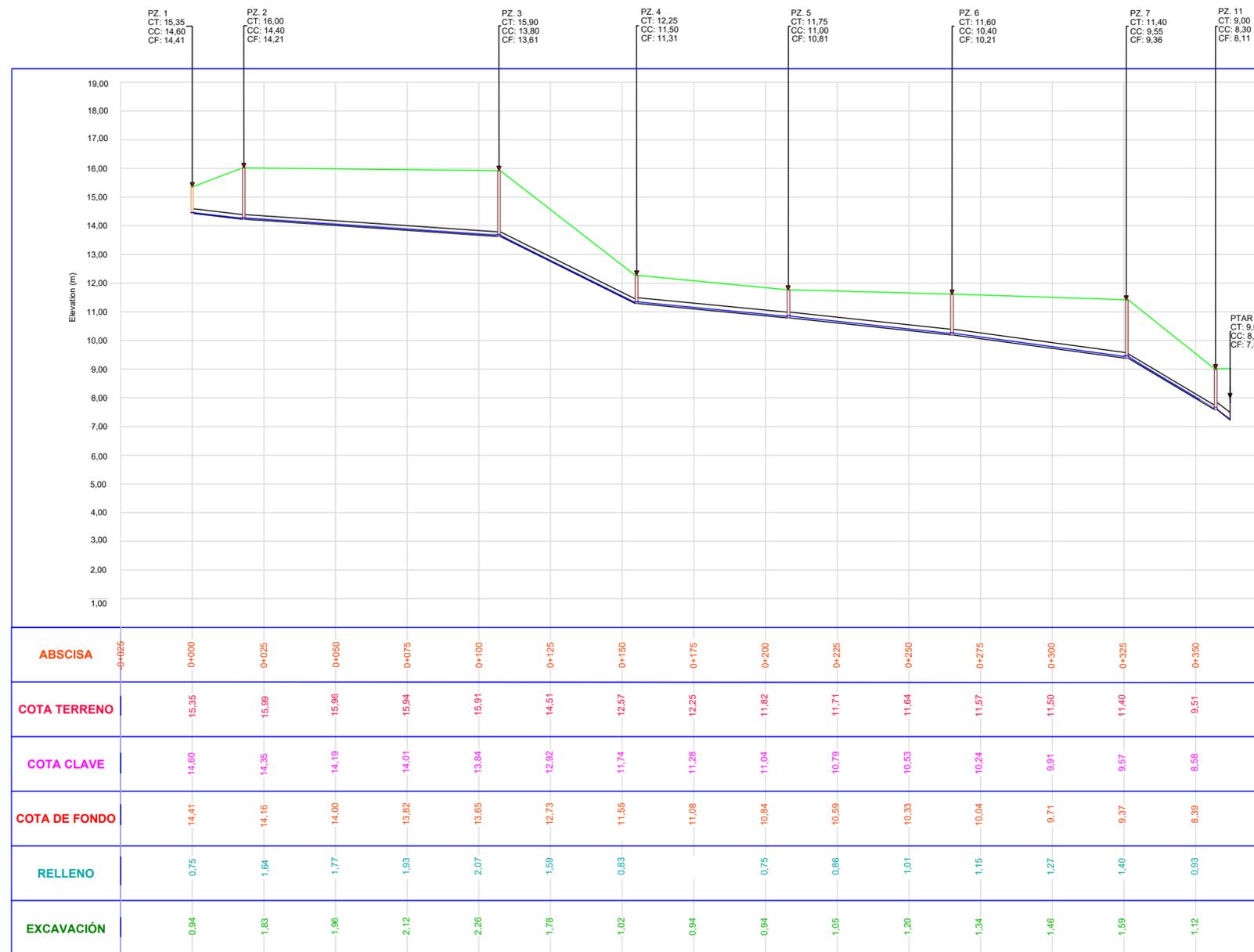
 Josselyn Cujilema

Docente:

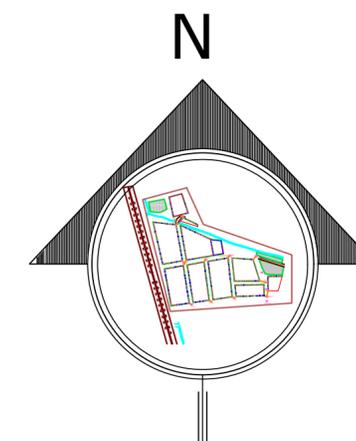
 Ing. Clara Glas

Escala:
 1:1000
 Fecha:
 Julio / 2021

Lamina:
 4/6



Perfil longitudinal de la red primaria



PROVINCIA: GUAYAS
CANTÓN: DAULE
PARROQUIA: LIMONAL

- Terreno natural
- Tubería de PVC
- Pozo de revisión
- Altura lámina de agua servida.

OBRA:
Perfil longitudinal de la red de alcantarillado sanitario.

Contiene:
Perfil longitudinal de la red primaria de alcantarillado sanitario.

Dibujante:
Josselyn Cujilema

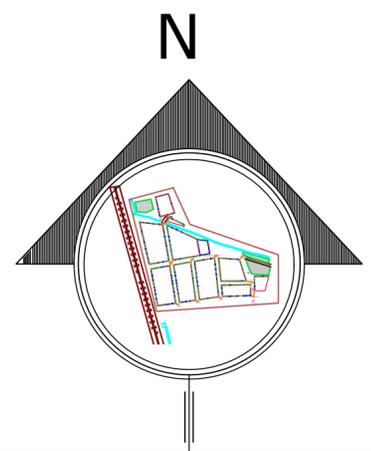
Docente:
Ing. Clara Glas

Escala:
1:1000
Fecha:
Julio / 2021

Lamina:
5/6



Perfil longitudinal de la red secundaria



PROVINCIA: GUAYAS
CANTÓN: DAULE
PARROQUIA: LIMONAL

- Terreno natural
- Tubería de PVC
- Pozo de revisión
- Altura lámina de agua servida.

OBRA:
Perfil longitudinal de la red de alcantarillado sanitario

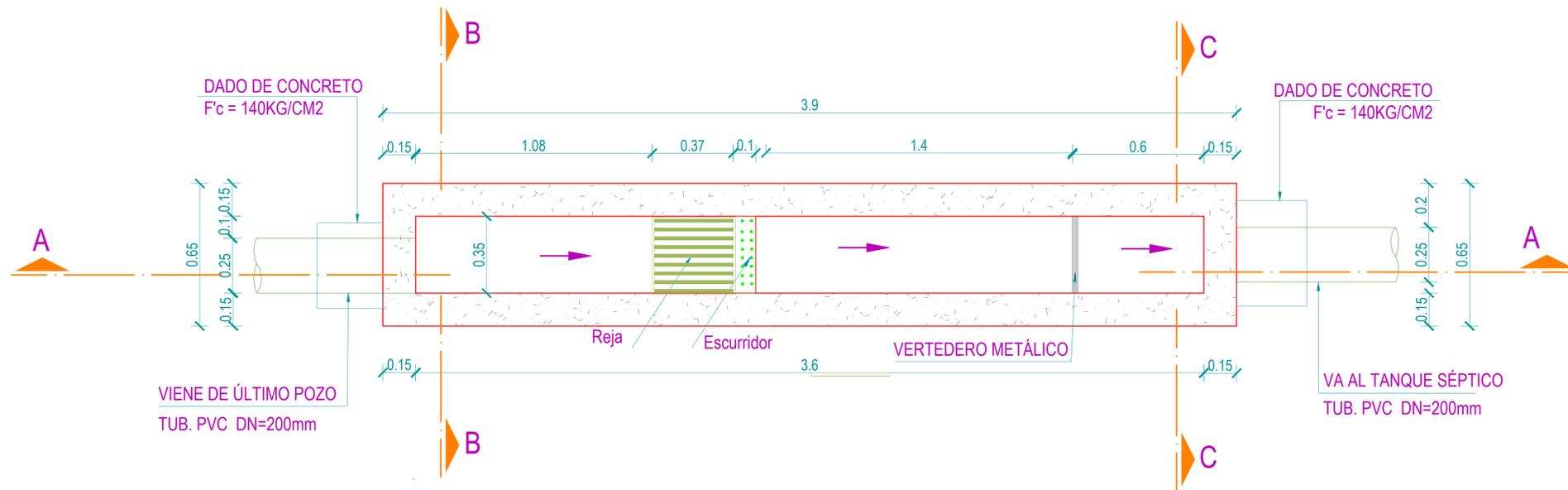
Contiene:
Perfil longitudinal de la red secundaria de alcantarillado sanitario.

Dibujante:
Josselyn Cujilema

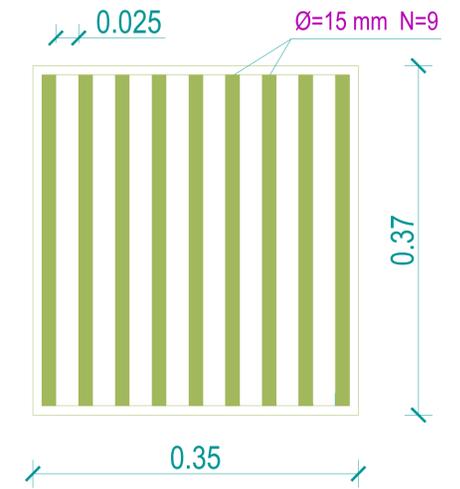
Docente:
Ing. Clara Glas

Escala:
1:1000
Fecha:
Julio / 2021

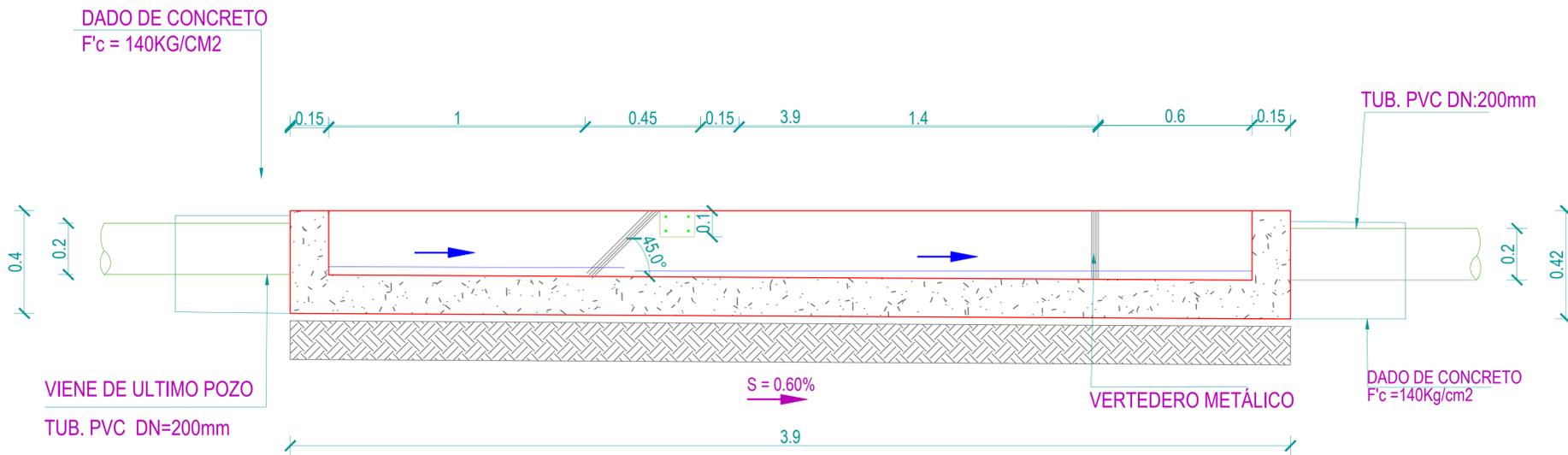
Lamina:
6/6



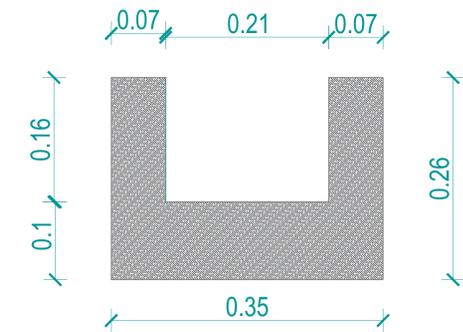
PLANTA DE CÁMARA DE REJAS
ESC. 1/25



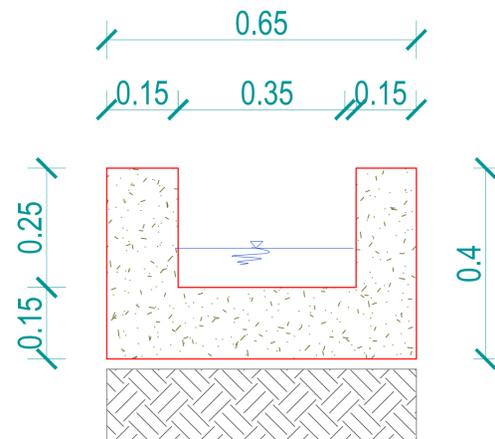
DETALLE DE REJAS
ESC. 1/25



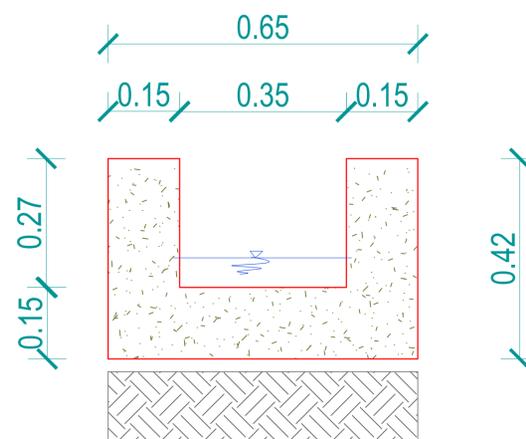
CORTE A - A
ESC. 1/25



DETALLE DE VERTEDERO METÁLICO PL e=1/2"
ESC. 1/10



CORTE B - B
ESC. 1/25



CORTE C - C
ESC. 1/25

PROYECTO:

DISEÑO DEL SISTEMA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD EL PRADO.

CONTIENE:

CAMARA DE REJA

DIBUJANTE:

JOSELYN CUJILEMA

DOCENTE:

ING. CLARA GLAS

ESCALA:

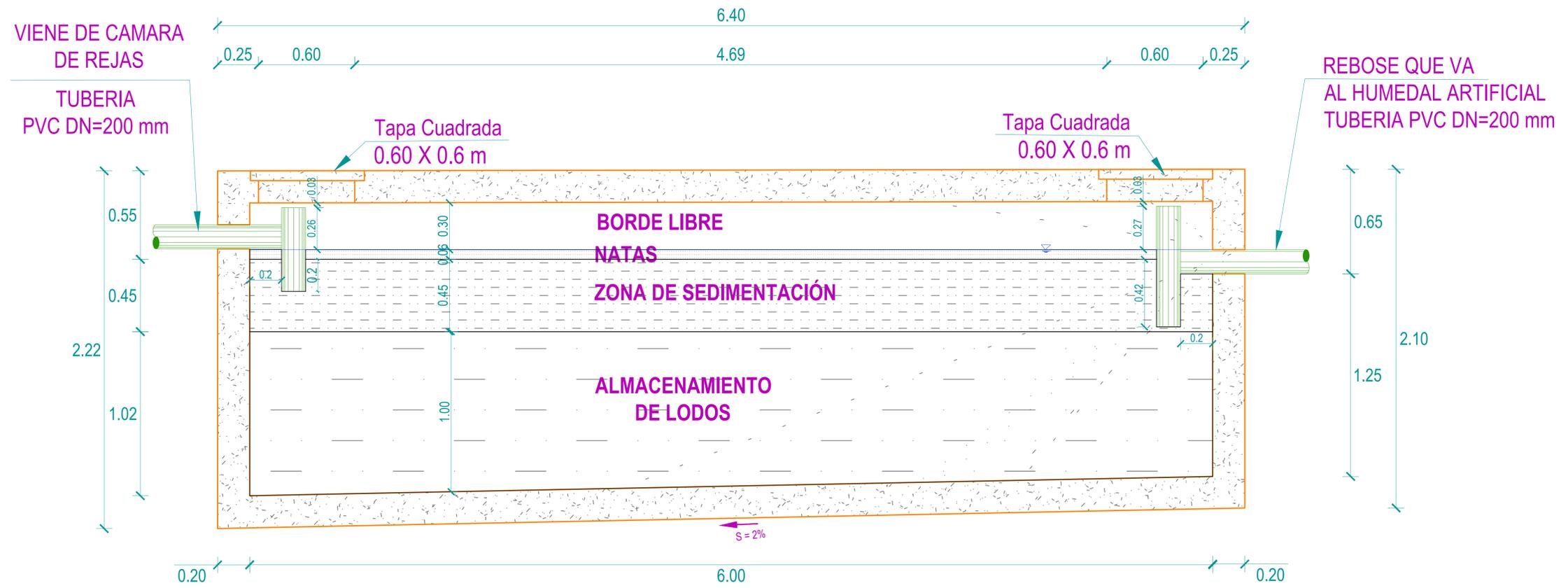
INDICADA

FECHA:

10/08/2021

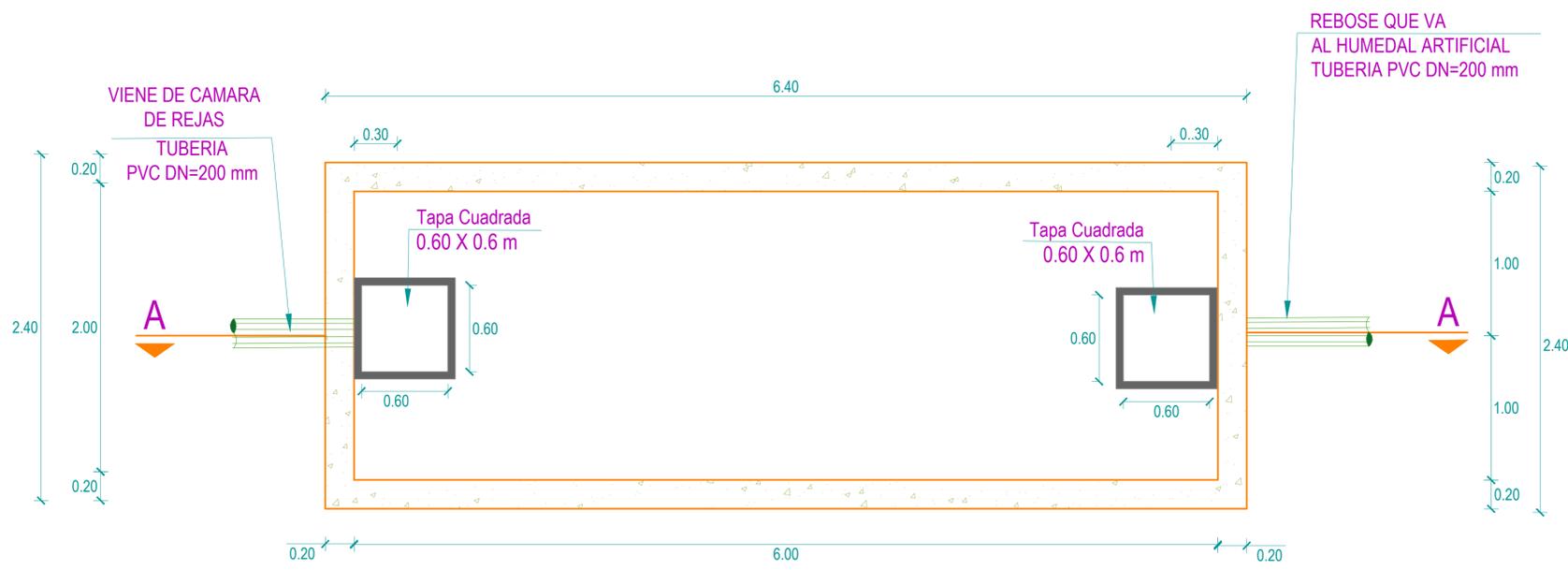
LÁMINA:

01



CORTE A-A / ELEMENTOS DE TANQUE SÉPTICO

ESC. 1/50



PLANTA DE TANQUE SÉPTICO

ESC. 1/50

PROYECTO:

DISEÑO DEL SISTEMA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD EL PRADO.

CONTIENE:

TANQUE SÉPTICO

DIBUJANTE:

JOSELYN CUJILEMA

DOCENTE:

ING. CLARA GLÁS

ESCALA:

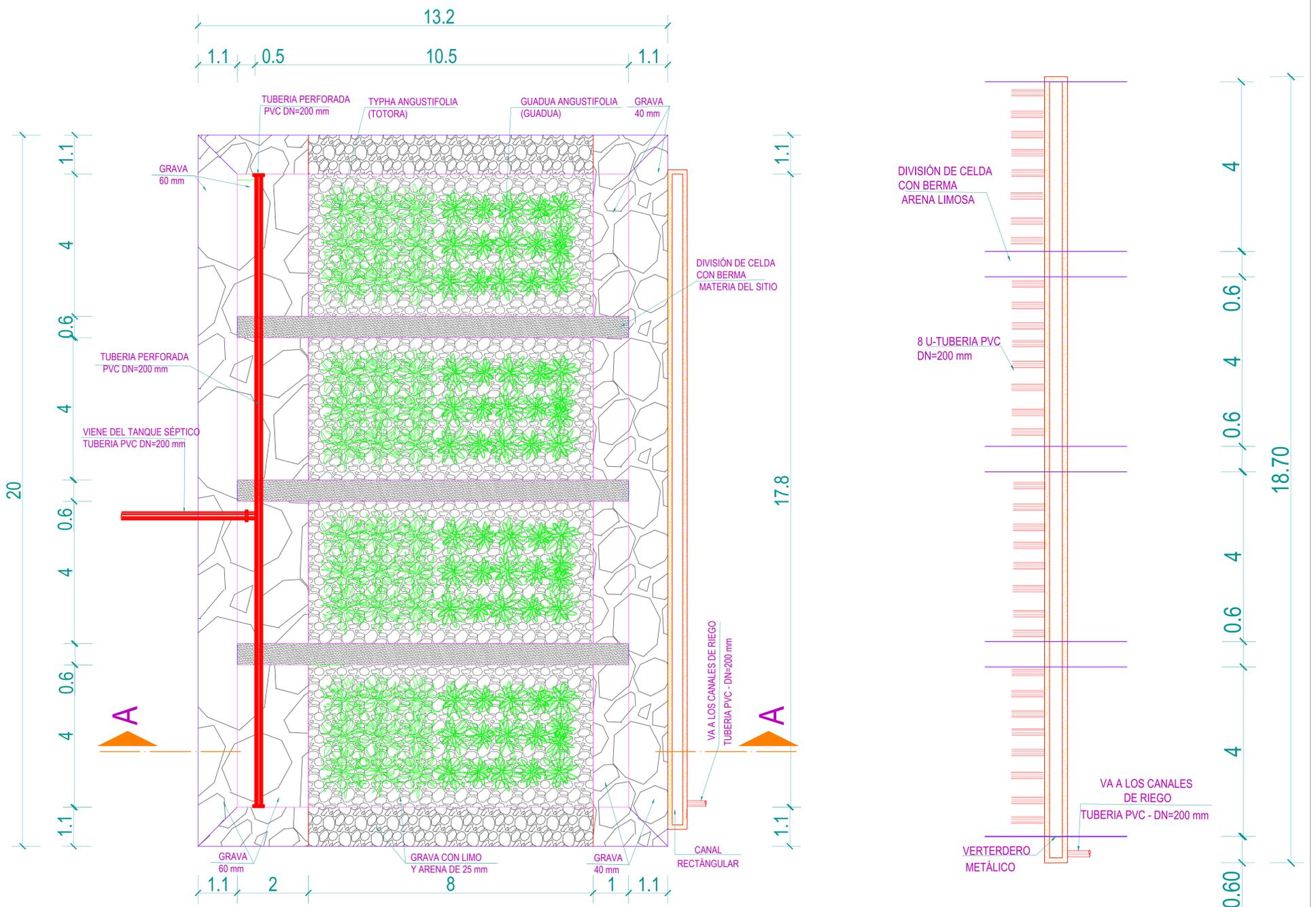
INDICADA

FECHA:

10/08/2021

LÁMINA:

02

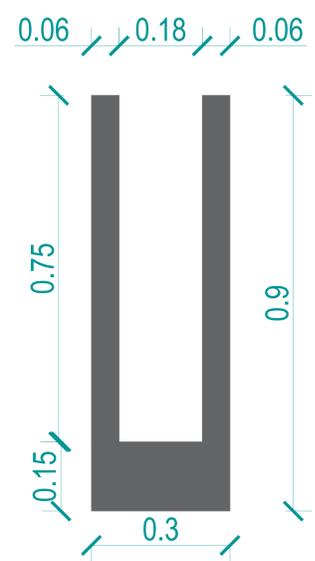
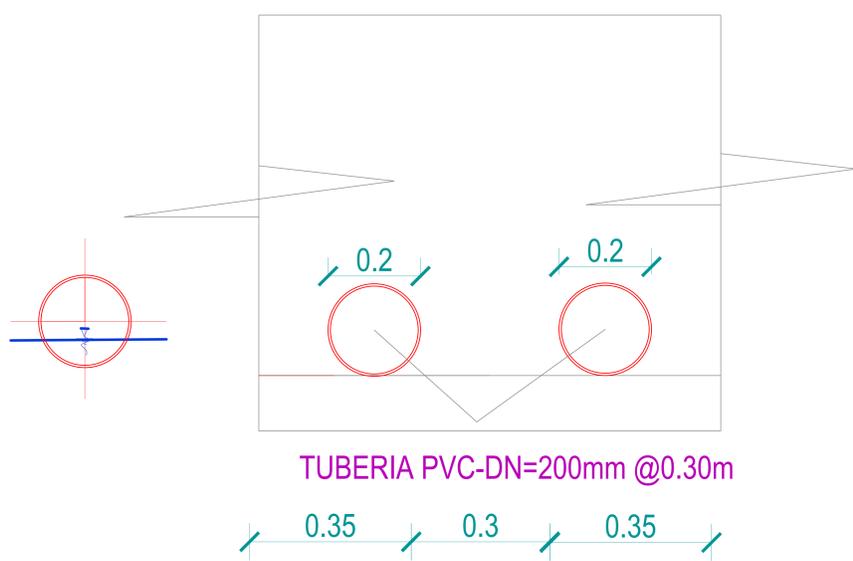


PLANTA DEL HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL

PLANTA DEL CANAL RECTANGULAR

ESC. 1/50

ESC. 1/10



DETALLE LONGITUDINAL DEL CANAL RECTANGULAR

DETALLE DE VERTEDERO METÁLICO

ESC. 1/10

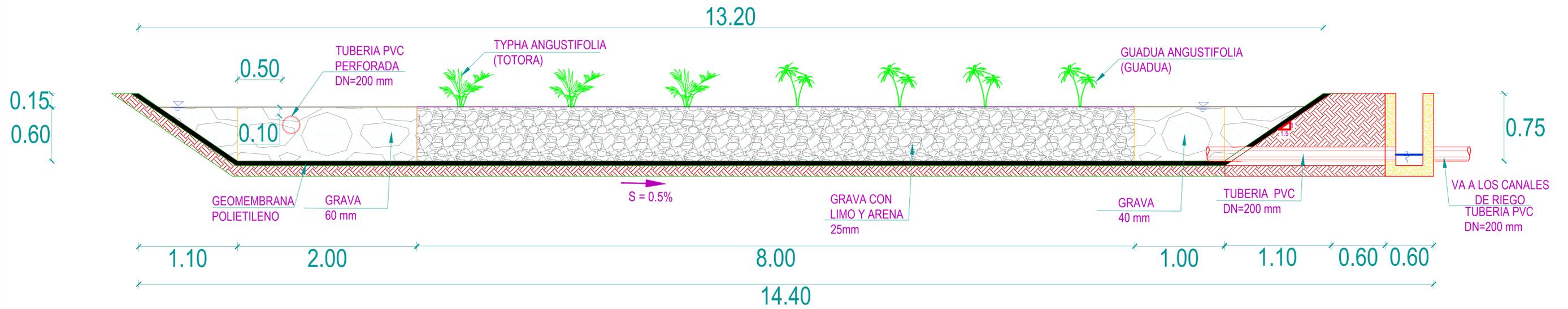
ESC. 1/10



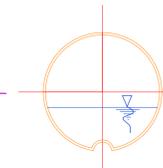
DETALLE DE TUBERIA DE DISTRIBUCION EN LA ENTRADA

ESC. 1/10

PROYECTO: DISEÑO DEL SISTEMA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD EL PRADO.		
CONTIENE: VISTA EN PLANTA DEL HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL		
DIBUJANTE: JOSSELYN CUJILEMA	DOCENTE: ING. CLARA GLAS	
ESCALA: INDICADA	FECHA: 10/08/2021	LÁMINA: 03-A

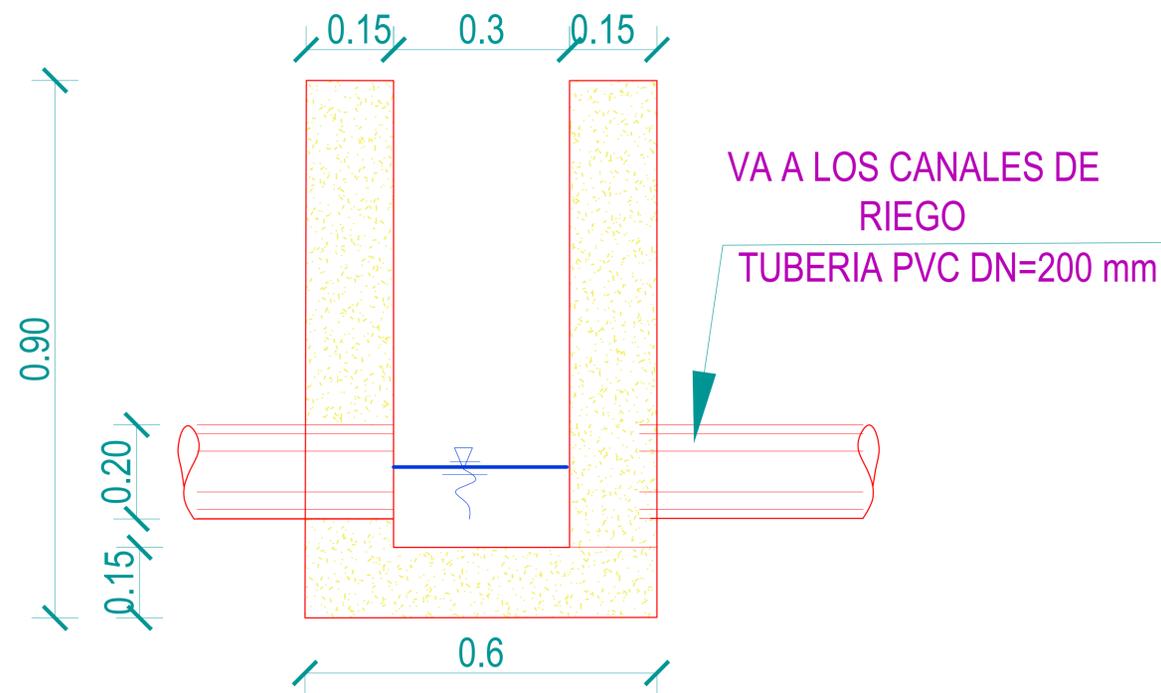


CORTE A-A / HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL
ESC. 1/50



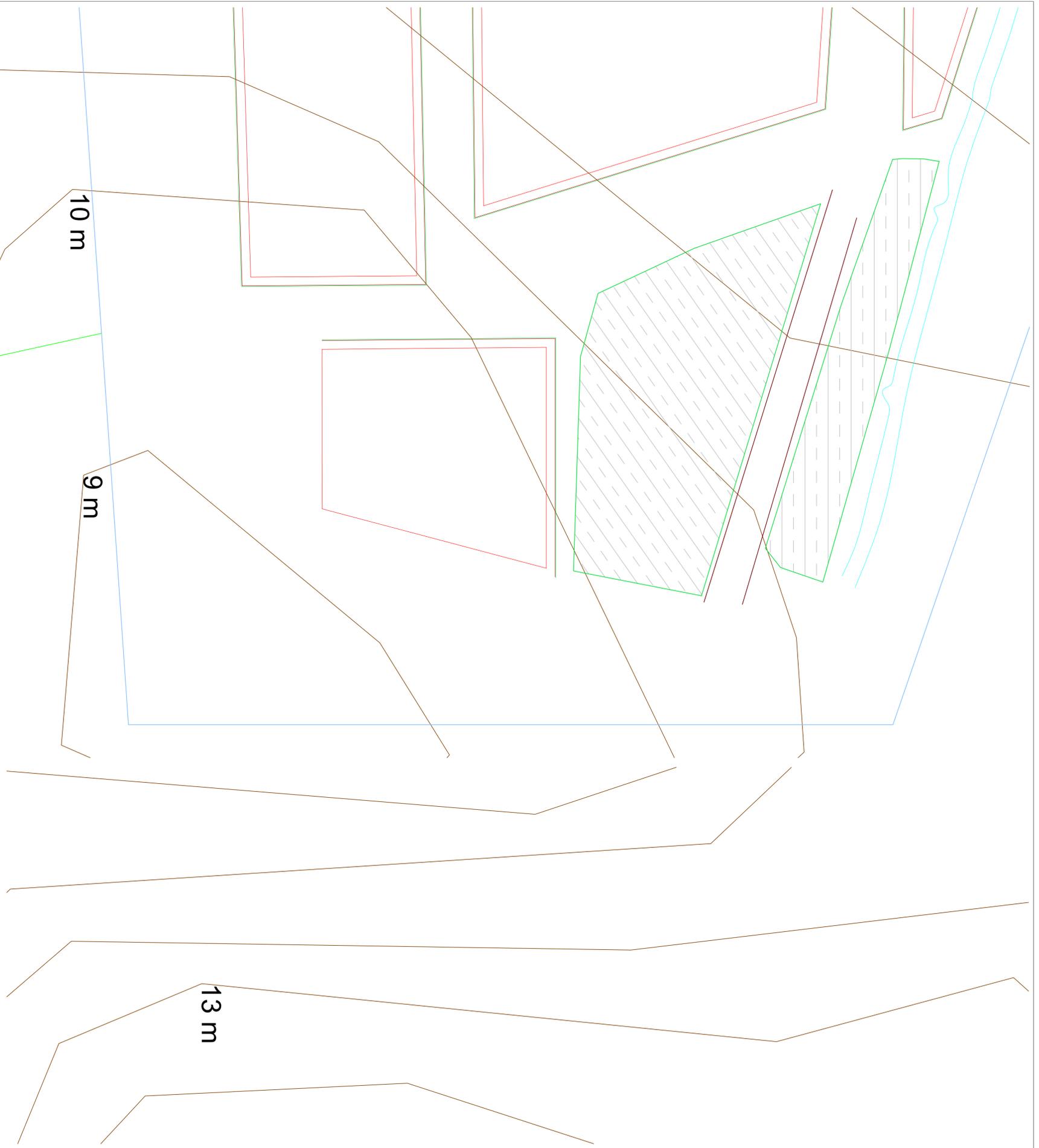
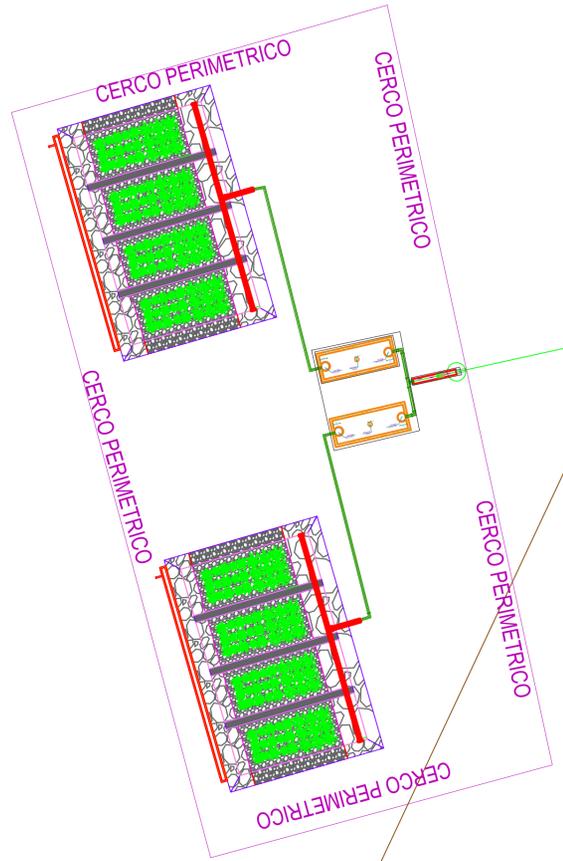
TUBERIA PVC-UF ISO 4435 DN=200mm

DETALLE DE TUBERIA DE DISTRIBUCION EN LA SALIDA
ESC. 1/10



DETALLE DEL CANAL RECTANGULAR
ESC. 1/10

PROYECTO: DISEÑO DEL SISTEMA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNNIDAD EL PRADO.		
CONTIENE: VISTA LONGITUDINAL DEL HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL		
DIBUJANTE: JOSELYN CUJILEMA	DOCENTE: ING. CLARA GLAS	
ESCALA: INDICADA	FECHA: 10/08/2021	LÁMINA: 03-B



PROYECTO:

DISEÑO DEL SISTEMA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD EL PRADO.

CONTIENE:

IMPLANTACIÓN DE LA PLANTA DE PTAR DE LA COMUNIDAD PRADO

DIBUJANTE:

JOSELYN CUJILEMA

DOCENTE:

ING. CLARA GLAS

ESCALA:

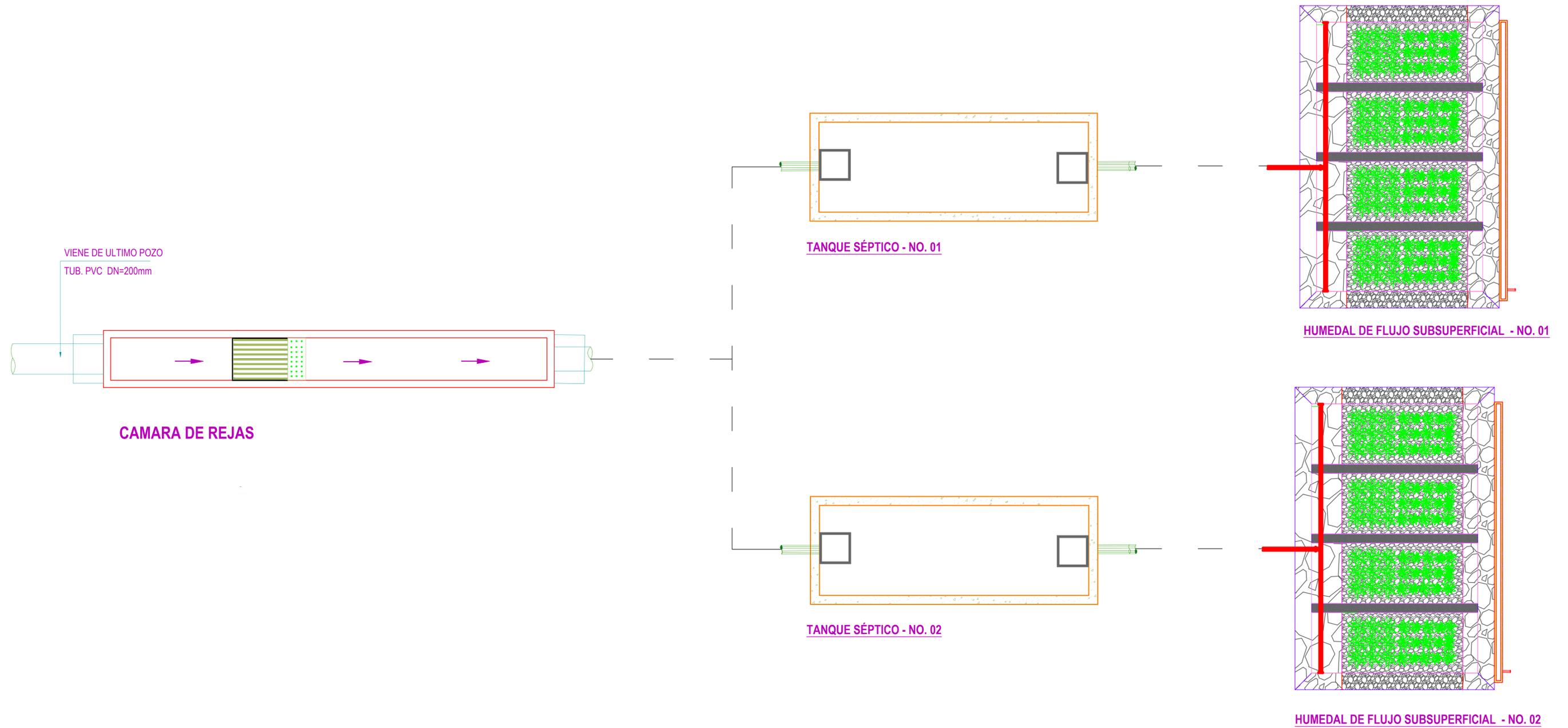
INDICADA

FECHA:

10/08/2021

LÁMINA:

04



PROYECTO:

DISEÑO DEL SISTEMA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD EL PRADO.

CONTIENE:

PLANTA DE TRATAMIENTO DE LA COMUNIDAD DEL PRADO

DIBUJANTE:

JOSSELYN CUJILEMA

DOCENTE:

ING. CLARA GLAS

ESCALA:

INDICADA

FECHA:

10/08/2021

LÁMINA:

05

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Cujilema Cujilema Josselyn Adriana**, con C.C: # **0957909575** autora del trabajo de titulación: **Diseño del sistema de alcantarillado sanitario para la comunidad “El Prado”, perteneciente al cantón Daule provincia del Guayas**, previo a la obtención del título de **Ingeniera Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **13 de septiembre de 2021**

f. _____

Nombre: **Cujilema Cujilema Josselyn Adriana**

C.C: **0957909575**

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Diseño del sistema de alcantarillado sanitario para la comunidad “El Prado”, perteneciente al cantón Daule provincia del Guayas.		
AUTORA:	Cujilema Cujilema, Josselyn Adriana		
TUTOR:	Glas Cevallos, Clara Catalina, Ms.C.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniera Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	13 de septiembre de 2021	No. PÁGINAS:	DE 132
ÁREAS TEMÁTICAS:	Ingeniería sanitaria, ingeniería de costos, alcantarillado sanitario y planta de tratamiento		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Tratamiento de aguas residuales, Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial, Comunidad, Sistema de Tratamiento, Presupuesto.		

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la comunidad “El Prado” perteneciente al cantón Daule provincia del Guayas, a través de un enfoque mixto cualitativo-cuantitativo, con el objetivo de diseñar, modelar el sistema de alcantarillado sanitario y proponer el tratamiento de las aguas residuales adecuada para la comunidad. Con un periodo de diseño de 25 años y una población futura de 535 habitantes, de los cálculos otorgados por la hoja de Excel se obtuvo un caudal de diseño de 9.70 l/s; a su vez, el diseño de la red primaria consta de tuberías de 160 y 200 mm de diámetro, la red secundaria y terciaria de 160 mm de diámetro. Los colectores del sistema de alcantarillado sanitario adoptado, cumplen con los criterios de la norma ecuatoriana CPE INEN 5 con pendientes, velocidades, relaciones hidráulicas Q/Q_0 y esfuerzos cortantes.

La PTAR propuesta para la comunidad del Prado está compuesta de: un pretratamiento que se compone por un canal de entrada y un sistema de cribado conformado por 9 rejillas, un tratamiento primario que consta de dos tanques sépticos con dimensiones de 12 m² de superficie y una profundidad de 1,70 m y, por último, un tratamiento secundario compuesto de dos humedales artificiales.

Esta PTAR propuesta fue diseñada para cumplir con la norma TULSMA, ANEXO1 LIBRO VI y de esta manera obtener una correcta remoción de D.Q.O5, D.B.O, Fósforo total, Sólidos suspendidos totales, Nitrógeno y Coliformes Fecales; el presupuesto total del proyecto es de \$169.708.45



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
CONTACTO CON AUTORES:	Teléfono: +593-98-130-9244	E-mail: josselyncujilema495@gmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Ing. Clara Glas Cevallos, M.Sc. Teléfono: +593-98-461-6792 E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec	
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA		
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):		
Nº. DE CLASIFICACIÓN:		
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		