

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Civil

Evaluación y propuesta de rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales El Chorro de la parroquia de Santa Ana, Cuenca, Ecuador

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Autores:

Pedro José Estrella Calle

Hernán Mateo Mendieta Correa

Director:

Andrés Omar Alvarado Martínez

ORCID:  0000-0002-9125-1221

Cuenca, Ecuador

2023-06-07

Resumen

La gestión adecuada de las aguas residuales es fundamental para prevenir la contaminación ambiental y la propagación de enfermedades infecciosas. En este sentido, las plantas de tratamiento de aguas residuales son esenciales para tratar el agua residual antes de devolverla al medio ambiente. En el caso específico de la parroquia rural de Santa Ana, Cuenca, Ecuador, la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) El Chorro se encarga de tratar las aguas residuales generadas por la comunidad rural. A pesar del trabajo realizado por la empresa pública encargada del saneamiento en la ciudad, ETAPA EP, se ha visto un desmejoramiento en el funcionamiento y manejo de los sistemas descentralizados a lo largo del tiempo. Este trabajo de titulación presenta una evaluación y propuesta de rediseño de la PTAR El Chorro. Los resultados del trabajo de titulación indicaron que la PTAR El Chorro no cumple con los límites máximos permisibles de ciertos contaminantes, causados por la ausencia de un sistema de tratamiento preliminar y terciario, a más de una considerable entrada de aguas ilícitas y de infiltración a la red de alcantarillado. Por lo tanto, se propusieron alternativas de rediseño para el tren de tratamiento, enfocadas en la sostenibilidad ambiental y económica, que tienen como objetivo mejorar la eficiencia de remoción de contaminantes, y en general, la configuración y funcionamiento de la planta.

Palabras clave: aguas residuales, sistemas descentralizados, propuesta de rediseño

Abstract

The proper management of wastewater is crucial to prevent environmental pollution and the spread of infectious diseases. In this regard, wastewater treatment plants are essential for treating wastewater before returning it to the environment. In the specific case of the rural community of Santa Ana in Cuenca, Ecuador, El Chorro wastewater treatment plant (WWTP) is responsible for treating the wastewater generated by the rural community. Despite the work carried out by the public sanitation company, ETAPA EP, there has been a deterioration in the operation and management of decentralized systems over time. This thesis presents an assessment and redesign proposal for the El Chorro WWTP. The results of the thesis work indicated that the El Chorro WWTP does not meet the maximum allowable limits for certain contaminants, mainly due to the absence of a preliminary and tertiary treatment system, as well as significant inflow of illicit water and infiltration into the sewerage network. Therefore, redesign alternatives for the treatment train were proposed, focusing on environmental and economic sustainability, with the aim of improving contaminant removal efficiency, as well as the overall configuration and operation of the plant.

Keywords: wastewater, decentralized systems, redesign proposal

Índice de contenido

Resumen	2
Abstract.....	3
Índice de contenido.....	4
Índice de figuras.....	8
Índice de tablas.....	9
Índice de Anexos	11
Dedicatoria.....	13
Agradecimientos	14
Capítulo 1 - INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. Introducción.....	15
1.2. Antecedentes	17
1.3. Justificación.....	19
1.4. Objetivos	19
1.3.1. General:.....	19
1.3.2. Específicos:	19
Capítulo 2 – MARCO TEÓRICO	20
2. Marco teórico.....	20
2.1. Situación actual del saneamiento rural en el Ecuador	20
2.1.1. Saneamiento en el cantón Cuenca.....	21
2.2. Aguas Residuales.	22
2.2.1. Sistemas de tratamiento de aguas residuales	23
2.2.2. Sistemas descentralizados de tratamiento de aguas residuales.....	23
2.3. Caracterización de las aguas residuales	24
2.3.1. Métodos de muestreo.....	25
2.3.2. Aforos.....	26
2.3.2.1. Método Volumétrico.....	26
2.4. Proceso de Tratamiento	27
2.4.1. Tratamiento Preliminar	28
2.4.1.1. Canal de Entrada.....	28
2.4.1.2. Transición.....	29
2.4.1.3. Cribado o reja de entrada	30
2.4.1.4. Control del flujo.....	31
2.4.1.5. Sedimentación.....	32
2.4.1.6. Vertedero Proporcional Sutro	33
2.5. Tratamiento Primario.....	34

2.6. Tratamiento Secundario	34
2.6.1. Reactores Anaerobios.....	35
2.7. Tratamiento Terciario	36
2.8. Tratamiento de Lodos.....	38
2.9. Operación y Mantenimiento.....	39
2.10. Normativa Vigente en el Ecuador.....	40
Capítulo 3 – EVALUACIÓN DE LA PTAR	42
3.1. Evaluación de la PTAR	42
3.1.1 Descripción del área de estudio.....	42
3.1.2. Análisis poblacional	42
3.1.3. Servicio de saneamiento	44
3.1.4. Estudios de campo y laboratorio.....	44
3.1.5. Caracterización.....	45
3.1.6. Aforos	45
3.1.7. Características físicas, químicas y microbiológicas	46
3.1.8. Características físicas.....	47
3.1.8.1. Sólidos totales (ST).....	47
3.1.8.1.1. Sólidos suspendidos totales (SST).....	50
3.1.9. Características químicas.....	51
3.1.9.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅).....	51
3.1.9.2. Demanda química de oxígeno (DQO)	53
3.1.9.3. Relación DQO/DBO ₅	55
3.1.9.4. Fósforo total	57
3.1.9.5. Nitrógeno Kjeldahl.....	59
3.1.9.6. Potencial de Hidrógeno pH	60
3.1.10. Características microbiológicas	63
3.1.10.1. Coliformes Termotolerantes (CTE).....	63
3.2. Configuración y funcionamiento actual de la PTAR El Chorro.....	64
3.2.1. Tratamiento preliminar	66
3.2.2. Tratamiento primario	66
3.2.3. Tratamiento secundario.....	67
3.2.4. Tratamiento terciario	71
Capítulo 4 – SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA	72
4.1. Selección de tecnología	72
4.1.1. Aplicabilidad del proceso	72
4.1.2. Generación de residuos.....	73

4.1.3. Aceptación por parte de la comunidad.....	73
4.1.4. Generación de subproductos con valor económico o de uso	74
4.1.5. Vida útil.....	74
4.1.6. Requerimiento de área	74
4.1.7. Costo	74
4.1.8. Diseño y construcción.....	75
4.1.9. Operación	76
4.1.10. Entorno e impacto ambiental	76
4.2. Aplicación de la matriz de evaluación y selección de tecnología.....	76
4.3. Alternativas tecnológicas disponibles.....	77
4.4. Aplicación de la matriz de evaluación y selección de tecnología.....	77
4.1. Aproximación de la eficiencia de remoción del tren de tratamiento seleccionado..	84
Capítulo 5 – MEMORIA TÉCNICA DE LA PROPUESTA DE REDISEÑO	86
5. Memoria técnica de la propuesta de rediseño	86
5.1. Periodo de diseño	86
5.2. Población de diseño	86
5.2.1. Método Geométrico.....	87
5.3. Caudales de diseño.....	88
5.3.1. Caudal de aguas residuales domésticas	88
5.3.2. Caudal de infiltración.....	89
5.3.3. Caudal de aguas ilícitas	90
5.3.4. Caudal de aguas residuales industriales	90
5.4. Tratamiento Preliminar	91
5.4.1. Transición	91
5.4.2. Canal de Entrada	92
5.4.3. Reja de entrada o cribado	93
5.4.4. Control del flujo	94
5.4.5. Sedimentación	97
5.4.6. Vertedero proporcional sutro	98
5.5. Tratamiento Primario	99
5.6. Tratamiento Secundario	102
5.7. Tratamiento Terciario	104
5.8. Tratamiento de Lodos.....	107
Capítulo 6 – PRESUPUESTO	111
6.1. Presupuesto.....	111
Capítulo 7 – MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	118

7.1.	Manual de operación y mantenimiento.....	118
7.1.1.	Canal de entrada	118
7.1.2.	Rejilla de Entrada	119
7.1.3.	Desarenador	119
7.1.4.	Medidor de Caudal	120
7.1.5.	Tratamiento Primario	120
7.1.5.1.	Fosa Séptica.....	120
7.1.6.	Tratamiento Secundario.....	122
7.1.6.1.	Filtro Anaerobio	122
7.1.7.	Tratamiento Terciario.....	123
7.1.7.1.	Tanques de Cloración.....	123
7.1.8.	Tratamiento de Lodos	124
7.1.8.1.	Lecho de secado	124
8.	Conclusiones y Recomendaciones	127
9.	Referencias.....	128
10.	Apéndice	131
10.1.	Caudales de diseño	131
10.1.1.	Método Geométrico	131
10.1.2.	Dotación	131
10.2.	Tratamiento Preliminar.....	132
10.2.1.	Rejilla.....	132
10.2.2.	Control de flujo.....	132
10.2.3.	Desarenador	133
10.3.	Tratamiento Primario	135
10.4.	Tratamiento Secundario.....	135
11.	Anexos	136

Índice de figuras

Figura 1 Porcentajes de cobertura en la zona rural del Ecuador hasta el año 2020	21
Figura 2 Diagrama de Flujo del Tratamiento Preliminar	28
Figura 3 Esquema de la reja de entrada	31
Figura 4 Corte en Planta de un vertedero lateral.....	32
Figura 5 Vertedero Sutro convencional	33
Figura 6 Diagrama parcial del tren de tratamiento de aguas residuales	35
Figura 7 Variación del caudal de entrada a la PTAR El Chorro	46
Figura 8 Análisis histórico de los sólidos totales ST	48
Figura 9 Boxplot de la serie histórica de muestreos de sólidos totales ST.	49
Figura 10 Análisis histórico de los sólidos suspendidos totales SST	50
Figura 11 Análisis histórico de la demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅	52
Figura 12 Boxplot de la serie histórica de muestreos de la demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅	53
Figura 13 Análisis histórico de la demanda química de oxígeno DQO.	54
Figura 14 Boxplot de la serie histórica de muestreos de la demanda química de oxígeno DQO.	55
Figura 15 Análisis histórico de la relación DQO/DBO ₅	56
Figura 16 Análisis histórico del fósforo total P	57
Figura 17 Análisis histórico de nitrógeno total kjeldahl. NTK	59
Figura 18 Boxplot de la serie histórica de muestreos de nitrógeno Kjeldahl NTK	60
Figura 19 Análisis histórico de Potencial de Hidrógeno pH.	61
Figura 20 Boxplot de la serie histórica de muestreos de coliformes termotolerantes CTE... ..	62
Figura 21 Análisis histórico de coliformes termotolerantes CTE.....	63
Figura 22 Diagrama de flujo de los procesos de tratamiento. PTAR El Chorro	65
Figura 23 Boceto a partir del levantamiento topográfico de la PTAR El Chorro.....	65
Figura 24 Vista en planta del tanque séptico.....	67
Figura 25 Vista en perfil del tanque séptico.....	67
Figura 26 Distribución de las tuberías de ingreso en la parte inferior del filtro anaerobio. ...	69
Figura 27 Distribución de las tuberías de ingreso en la parte superior del filtro anaerobio. .	70
Figura 28 Corte A-A' del filtro anaerobio.	71
Figura 29 Corte B-B' del filtro anaerobio.	71
Figura 30 Flujo Subcrítico en un canal con vertedero lateral.....	95
Figura 31 Perfil de flujo en canal.....	96
Figura 32 Coeficiente de forma de los barrotes.....	132

Índice de tablas

Tabla 1 Déficit de sistemas de eliminación de excretas pertenecientes al cantón Cuenca y la parroquia rural Santa Ana.	22
Tabla 2 Contaminantes más importantes y sus respectivos indicadores de aguas residuales.	25
Tabla 3 Descripción de los niveles de tratamiento de aguas residuales.	27
Tabla 4 Ventajas y Desventajas en los tipos de canales propuestos.....	28
Tabla 5 Características de los barrotes	30
Tabla 6 Ventajas y Desventajas del Tanque Séptico.....	34
Tabla 7. Principales procesos de remoción de microorganismos patógenos.....	36
Tabla 8 Etapas del tratamiento de Lodos.	38
Tabla 9 Limites de descarga a un cuerpo de agua dulce	41
Tabla 10 Población de la parroquia rural Santa Ana y la comunidad El Chorro.....	42
Tabla 11 Población de la comunidad El Chorro de acuerdo al número de viviendas y densidad por vivienda.	44
Tabla 12 Serie histórica de muestreos de sólidos totales ST.	48
Tabla 13 Serie histórica de muestreos de sólidos suspendidos totales SST.	50
Tabla 14 Serie histórica de muestreos de demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅	52
Tabla 15 Serie histórica de muestreos de la demanda química de oxígeno DQO.	54
Tabla 16 Serie histórica de muestreos de relación DQO/DBO ₅	56
Tabla 17 Serie histórica de muestreos de fósforo P.	58
Tabla 18 Serie histórica de muestreos de nitrógeno kjeldahl NTK.....	59
Tabla 19 Serie histórica de muestreos de Potencial de Hidrógeno pH.....	61
Tabla 20 Serie histórica de muestreos de coliformes termotolerantes CTE.....	64
Tabla 21 Asignación de valores de ponderación para la matriz de decisión.....	76
Tabla 22 Alternativas tecnológicas para cada fase del tren de tratamiento.	77
Tabla 23 Matriz de decisión para el tratamiento preliminar	78
Tabla 24 Matriz de decisión para el tratamiento primario	79
Tabla 25 Matriz de decisión para el tratamiento secundario.....	80
Tabla 26 Matriz de decisión para el tratamiento terciario	81
Tabla 27 Matriz de decisión para tratamiento de lodos	82
Tabla 28: Aproximación de eficiencia de remoción de contaminantes del tren de tratamiento seleccionado.....	85
Tabla 29 Datos históricos de población de acuerdo a una densidad promedio por vivienda.	87
Tabla 30 Resumen caudal de aguas de infiltración	89

Tabla 31 Resumen caudal de aguas ilícitas	90
Tabla 32 Resumen de caudales que forman parte del caudal medio diario.....	91
Tabla 33 Caudales de diseño.....	91
Tabla 34 Valores obtenidos para distintas transiciones.....	92
Tabla 35 Parámetros de un canal con sección rectangular	92
Tabla 36 Parámetros del diseño de la reja de entrada	93
Tabla 37 Parámetros obtenidos del canal rectangular.....	94
Tabla 38 Resultados del vertedero lateral	96
Tabla 39 Resultados de las dimensiones del desarenador	98
Tabla 40 Resultados vertedero sutro	99
Tabla 41 Volúmenes del tanque séptico.....	101
Tabla 42 Comparación entre el tanque séptico actual y el obtenido.....	101
Tabla 43 Datos de entrada para el diseño del filtro anaerobio.....	103
Tabla 44. Datos para Determinar la Dosificación del Cloro	104
Tabla 45 Tiempos de Contacto en Función del Caudal.....	106
Tabla 46 Dimensionamiento del Tanque de Cloración	106
Tabla 47 Parámetros de flujo y producción de lodos per-cápita en el tratamiento primario	108
Tabla 48 Parámetros de flujo y de producción per-cápita en el tratamiento secundario	108
Tabla 49 Producción de lodo en cada fase de tratamiento.....	109
Tabla 50 Dimensionamiento lecho de secado.....	109
Tabla 51 Propuestas de tratamiento para cada etapa en el manejo de lodos	110
Tabla 52 Presupuesto para la PTAR El Chorro	111
Tabla 53 Resumen de las actividades en la operación y mantenimiento de la PTAR El Chorro.....	126
Tabla 54 Dotaciones de agua para los diferentes niveles de servicio.....	131
Tabla 55 Niveles de servicio para sistemas de abastecimiento, disposición de excretas y residuos líquidos	131
Tabla 56 Comprobación de los criterios de diseño de un desarenador	134
Tabla 57 Comprobación de los criterios de diseño de un tanque séptico	135

Índice de Anexos

Anexo A: Conformación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales: vista en planta y vista en perfil.....	136
Anexo B: Detallamiento de estructuras de tratamiento preliminar: canal de entrada, desarenador, vertedero de excesos	136
Anexo C: Detallamiento de estructuras de tratamiento primario: tanque séptica y pozo de revisión.	136
Anexo D: Detallamiento de estructuras de tratamiento secundario filtro anaerobio de flujo ascendente Anexo D: Detallamiento de estructuras de tratamiento secundario filtro anaerobio de flujo ascendente.	136
Anexo E: Detallamiento de estructuras de tratamiento terciario: tanque de cloración y perfiles de tuberías de conexión.	136
Anexo F: Detallamiento de estructuras de tratamiento de lodos: lecho de secado.	136

Dedicatoria

A mis padres Pablo y Daniela, por ser un ejemplo desde pequeño y sin quienes me hubiera resultado imposible alcanzar este logro.

A la Abi, una compañera de vida excepcional con quien he recorrido los mejores y peores momentos de esta carrera.

Y finalmente, a mi familia y a mis amigos que siempre estuvieren ahí, atentos y dispuestos a darme su apoyo incondicional.

Pedro José Estrella Calle

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a las mujeres excepcionales que han estado a mi lado en cada paso de mi formación personal y académica.

A mi madre, María Fernanda, por su incondicional amor y presencia constante en esta etapa tan importante de mi vida.

A mi abuela, Gladis, por su compañía y palabras de afecto en los momentos oportunos.

A mi hermana y amigos quienes han sabido hacer más llevaderas las noches de estudio y trabajos. A todos ustedes les agradezco por ser mi red de apoyo, por brindarme ánimo y por recordarme constantemente de que soy capaz de lograr mis metas.

Hernán Mateo Mendieta Correa

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro profundo agradecimiento al Ing. Andrés Alvarado Martínez, Ph.D., nuestro director, por su dedicación y compromiso a la docencia durante nuestra formación académica, así como por su inestimable contribución a nuestro proyecto de titulación.

De la misma manera, deseamos agradecer a la empresa pública ETAPA EP, y en particular, a la Ing. Verónica Rodas, por su constante disposición para brindarnos el apoyo necesario.

Por último, extendemos nuestro agradecimiento al College of Agriculture and Life Sciences de la Universidad de Texas A&M (EUA) y a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, por facilitar el intercambio académico y cultural que enriqueció nuestra experiencia.

Capítulo 1 - INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

El saneamiento es un derecho humano que implica que todas las personas deben tener acceso a servicios de saneamiento que sean seguros, asequibles, físicamente accesibles y que garanticen la privacidad y la dignidad. Además, el saneamiento es un bien público que contribuye al bienestar de la sociedad en general, ya que mejora la salud pública y fomenta el desarrollo económico y social. (OMS & UNICEF, 2021)

En el año 2020, el 78% de la población mundial, equivalente a 6.100 millones de personas, tenía acceso a servicios de saneamiento básicos. Sin embargo, para alcanzar la cobertura universal de estos servicios para el año 2030, uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), se requeriría duplicar la tasa de progreso histórica. Según el informe WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme (JMP) del año 2021, si se mantiene la misma tendencia, el mundo solo lograría el 90% de cobertura para el año 2030. Aunque existe un gran desafío por delante, la historia ha demostrado que es posible lograr avances significativos con rapidez.(OMS & UNICEF, 2022)

El Ecuador presenta una notable diferencia en la situación del saneamiento entre su población urbana y rural. Según los datos más recientes recopilados por WHO/UNICEF JMP en el año 2020 y publicados en su portal web washdata.org, alrededor del 93% de la población urbana tiene acceso a servicios de saneamiento básico. Sin embargo, la situación es muy diferente en las áreas rurales, donde aproximadamente 160,000 personas carecen de saneamiento básico y se ven obligadas a defecar al aire libre. Lamentablemente, los niños son los más afectados, ya que 8 de cada 10 niños indígenas no tienen acceso a agua segura, saneamiento básico o insumos para el lavado de manos, lo que aumenta su vulnerabilidad a enfermedades y afecta su calidad de vida. (INEC & UNICEF, 2020)

La información proporcionada señala una deuda en términos de saneamiento, especialmente en las zonas rurales del país, lo cual se debe a diversos factores como el bajo nivel socioeconómico de los beneficiarios, viviendas aisladas que no permiten economías de escala en las soluciones propuestas, así como el limitado o nulo acceso a recursos financieros y la falta de supervisión, control y apoyo técnico de instituciones públicas o empresas de agua y saneamiento. En respuesta a esta problemática, a principios de los años 2000, la empresa pública municipal ETAPA EP del cantón Cuenca inició la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en las diferentes parroquias rurales del cantón. El objetivo de esta iniciativa fue descentralizar el saneamiento y mejorar las condiciones de salud de los usuarios.(Ordóñez, 2008)

A pesar del trabajo iniciado, las PTAR's construidas y manejadas por la empresa ETAPA se han visto desmejoradas a lo largo de los años, en términos de su eficiencia de remoción de contaminantes. Las principales causas incluyen: (1) el rápido crecimiento poblacional en las áreas servidas, causando incrementos en las tasas de flujo de manera considerable, (2) recursos económicos limitados, añadido a la poca participación de los usuarios, (3) y en algunos casos la adopción de soluciones estándar en la construcción de mencionadas plantas. (Alvarado et al., 2017)

1.2. Antecedentes

La ciudad de Cuenca a través de su empresa pública ETAPA EP es una urbe pionera en el Ecuador en asegurar la gestión integral del agua (gestión ambiental, agua potable, saneamiento). En términos de saneamiento, su completo sistema de alcantarillado garantiza una apropiada disposición final de los residuos, luego del respectivo manejo en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Ucubamba, formado por un conjunto de lagunas de estabilización, que certifican el regreso del agua a sus cauces naturales en condiciones adecuadas. Dicha planta trata el 95% de aguas residuales de la ciudad; existiendo otras plantas rurales pequeñas en diferentes lugares del cantón. (ETAPA EP, 2023).

La construcción de plantas de tratamiento rurales o descentralizadas nace de la necesidad de cubrir la expansión urbana de carácter residencial con la notable tendencia de traslado de la población debido a razones socioeconómicas que han ocupado parte del área de los centros parroquiales y las zonas periféricas de la ciudad. (Ordóñez, 2008).

La PTAR El Chorro, ubicada en la comunidad El Chorro, en la parroquia rural Santa Ana fue construida a principios del año 2008 y puesta en funcionamiento en el 2009. La planta se configura de una estructura de derivación de caudales (Bypass), seguido de un tanque séptico y un filtro anaerobio de flujo vertical. Su configuración responde a una práctica estandarizada por parte de ETAPA EP para la ejecución de este tipo de plantas. Por tal razón, la planta se ha visto desmejorada en términos de eficiencia en la remoción de contaminantes a lo largo de años.

En el tiempo, el servicio de tratamiento de aguas residuales de la PTAR El Chorro ha enfrentado desafíos que han afectado su funcionamiento. Estos desafíos incluyen la entrada significativa de aguas de infiltración y aguas ilícitas, lo que diluye considerablemente el agua residual. También se ha observado el taponamiento de las tuberías del filtro anaerobio, lo cual genera inconvenientes aguas atrás en el proceso de tratamiento. Adicionalmente, la planta experimenta una sobrecarga hidráulica, lo que puede incrementar la velocidad del flujo dentro del medio filtrante y provocar la remoción de la biomasa. Estos problemas recurrentes requieren atención para asegurar el adecuado funcionamiento de la planta de tratamiento. Los problemas mencionados, son recurrentes en varias plantas pequeñas descentralizadas ubicadas en la ruralidad de la sierra ecuatoriana. Por lo que es importante buscar soluciones desde el aspecto técnico y económico que permitan mejorar el acceso a un adecuado saneamiento en estas zonas.

El presente trabajo de titulación se realiza en el marco de la Cooperación entre la Universidad de Cuenca y la Empresa Pública de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca, ETAPA EP y bajo la colaboración académica existente entre el College of Agriculture and Life Sciences de la Universidad de Texas A&M (EUA) y la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca para el desarrollo de proyectos específicos en las plantas de tratamiento identificadas por ETAPA donde es factible un mejoramiento integral de su infraestructura de tratamiento.

1.3. Justificación

A pesar del trabajo realizado por parte la empresa municipal ETAPA a través de la dirección de las PTAR'S en los sectores rurales del cantón, existen sistemas donde se ha evidenciado una disminución en la eficiencia de remoción de contaminantes. Con el objetivo de precautelar la salud pública y la conservación ambiental, se han identificado proyectos para el mejoramiento integral del funcionamiento de algunas plantas de tratamiento descentralizadas manejadas por ETAPA.

En el caso particular de la PTAR El Chorro, la ausencia de un tratamiento preliminar sumado a la entrada de aguas ilícitas (escorrentía de cultivos, cubiertas, etc.), y aguas de infiltración en épocas de lluvia provocan una frecuente colmatación del tanque séptico y del filtro anaerobio. Una evaluación y posterior rediseño de la planta que ponga en correcto funcionamiento cada una de las unidades de tratamiento son acciones que tendrán un impacto directo en la eficiencia del tratamiento, colaborando con la salud pública y ambiental del lugar e impactando positivamente en la calidad de vida a los usuarios.

1.4. Objetivos

1.3.1. General:

- Contribuir en el avance y mejoramiento del saneamiento rural en el cantón Cuenca, Ecuador

1.3.2. Específicos:

- Determinar el estado de las unidades y procesos de operación actuales en la PTAR El Chorro.
- Analizar alternativas de diseño para el tren de tratamiento con enfoque en la sostenibilidad ambiental y económica.
- Realizar una propuesta de rediseño para la PTAR El Chorro.

Capítulo 2 – MARCO TEÓRICO

2. Marco teórico

2.1. Situación actual del saneamiento rural en el Ecuador

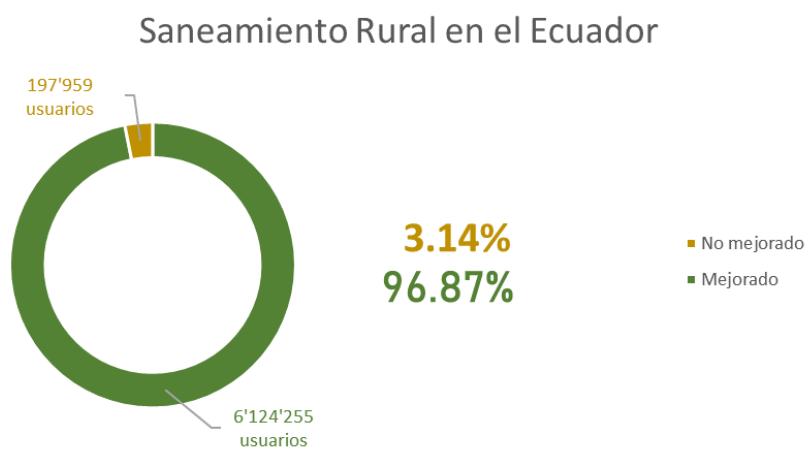
La Constitución de la República del Ecuador, en su artículo 66, ha garantizado el derecho de las personas a una vida digna que incluye el saneamiento ambiental, entre otros servicios, desde la publicación del Registro Oficial No. 449 el 20 de octubre de 2008 (Ecuador, 2008). La universalización del saneamiento en Ecuador se ha convertido en un elemento esencial para el desarrollo social y económico, así como para mejorar el bienestar humano y la salud en general. Aunque los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) en agua y saneamiento se lograron en 2010, aún existe una considerable cantidad de personas, alrededor de 200,000, en áreas rurales que carecen de infraestructura de saneamiento mejorada (INEC & UNICEF, 2020)

Es relevante destacar que, el rendimiento del sector de saneamiento se ha visto afectado por un incremento anual significativo del 1,12%, así como por una reducción de la brecha entre áreas urbanas y rurales del 44% al 11%, lo que equivale a una disminución anual del 1,32%. Sin embargo, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) han planteado nuevos desafíos en el ámbito del saneamiento e higiene en Ecuador, poniendo de manifiesto deficiencias estructurales en el acceso a estos servicios. A través de la colaboración interinstitucional entre el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), se ha logrado establecer una línea de base para los indicadores de agua, saneamiento e higiene de los ODS. Según esta línea de base, se ha logrado el acceso al saneamiento básico y se proyecta alcanzar el acceso universal a dicho saneamiento para el año 2025, cumpliendo así el indicador 6.2.1 de los ODS relacionado con el saneamiento (INEC & UNICEF, 2019).

En la **Figura 1**, se puede observar la cobertura alcanzada hasta el año 2020.

Figura 1

Porcentajes de cobertura en la zona rural del Ecuador hasta el año 2020



Adaptado de: WHO/UNICEF JMP, 2019, por elaboración propia.

2.1.1. Saneamiento en el cantón Cuenca.

Como parte de la primera etapa de los Planes Maestros de Alcantarillado para la ciudad de Cuenca, realizados en el año 1984, se incorporó la instalación de una red de “interceptores” a lo largo de los márgenes de ríos y quebradas. Para 1998 se conceptualizó la segunda fase de los Planes Maestros de Alcantarillado, respondiendo a la nueva delimitación urbana de la ciudad, en esta segunda etapa se buscó mantener y ampliar la cobertura del servicio de saneamiento con un horizonte de diseño al año 2030.

Parte de los diseños establecieron un caudal limitante de 1.8 m³/s, donde el caudal máximo horario en sequía y en época de lluvia es de alrededor de 2270 L/s y 2500 L/s respectivamente. Estos considerables flujos de aguas residuales dejan al descubierto la necesidad de la nueva planta de tratamiento de aguas residuales Guangarcucho (PTAR-G).

Actualmente, el sistema de alcantarillado de la ciudad de Cuenca es de tipo combinado, confluyendo en la planta de tratamiento de aguas residuales Ucubamba, operativa desde 1999. La ciudad de Cuenca líder en servicios de saneamiento en el país cuenta con la más grande planta de tratamiento de aguas residuales (Ucubamba), sin embargo, la ciudad se ha expandido enormemente hacia áreas periurbanas. Con nuevos desafíos la Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca (ETAPA EP) busca recuperar la funcionalidad y eficiencia de las 32 PTAR's descentralizadas ubicadas en las parroquias rurales.

Tabla 1

Déficit de sistemas de eliminación de excretas pertenecientes al cantón Cuenca y la parroquia rural Santa Ana.

Parroquia o Cantón			
Servicio	Cuenca	Santa Ana	
Por red Pública de Alcantarillado	N° 81495 % 93.91%	142 10.40%	
A tanque séptico	N° 3197 % 3.68%	557 40.78%	
A pozo Ciego	N° 215 % 0.25%	139 10.18%	
Con Descarga Directa al Mar. Río. Lago o Quebrada	N° 1192 % 1.37%	15 1.10%	
Total de viviendas	86784 100.00%	1366 100.00%	

Adaptado de: INEC Censo de población y vivienda 2010, por elaboración propia.

2.2. Aguas Residuales.

Toda actividad humana implica una producción de desechos. Los desechos líquidos representan las denominadas aguas residuales y básicamente proceden del uso del agua suministrada. Las aguas residuales contienen diferentes sustancias de origen natural o artificial, las cuales pueden ser más o menos dañinas, ya sea para el hombre, los animales y para el medio ambiente.

En general las aguas residuales son la suma de:

- Aguas residuales domésticas (residenciales, comerciales – institucionales, recreacionales)

- Aguas residuales industriales;
- Aguas de infiltración;
- Aguas lluvias.

Sus características son función principalmente de su origen (uso), de la hora de producción, de la extensión de la red, de la calidad de la red en sí (tipo de alcantarillado, materiales, juntas, cuidado en la construcción, mantenimiento) del consumo y desperdicio del agua potable, etc.

2.2.1. Sistemas de tratamiento de aguas residuales

Las razones que recomiendan el tratamiento de las aguas residuales pueden resumirse de manera amplia en: razones de salud pública, ecológicas, y legales.

- Razones de salud pública: Para evitar la contaminación de las aguas receptoras y las consecuencias peligrosas para el abastecimiento de agua de comunidades situadas río abajo.
- Razones ecológicas: Mantener las condiciones adecuadas del medio natural, protección de la flora y fauna.
- Razones legales: Relacionadas con el cumplimiento de la legislación.

El manejo de las aguas residuales debe responder a un análisis de las condiciones y necesidades locales en cada caso, y aplicar tanto los conocimientos científicos como la experiencia previa de ingeniera, respetando la legislación y las normas reguladoras de la calidad del agua existentes. (Metcalf & Eddy, 1991).

En la formulación, planeación, selección y diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales se debe considerar la disponibilidad de recursos económicos y técnicos, las características del agua residual a tratar con relación a las variaciones de caudal, tipo y concentración de contaminantes, los criterios establecidos para la descarga del efluente tratado a un cuerpo receptor o bien para su eventual uso. (Noyola et al., 2013)

2.2.2. Sistemas descentralizados de tratamiento de aguas residuales

La acelerada y desordenada expansión poblacional en las diferentes urbes del país ha provocado un sinnúmero de asentamientos en las zonas rurales, que a su vez demandan una cobertura extensiva respecto a servicios básicos, como es el caso de un sistema de alcantarillado. Un incremento en la red de colectores que transporte las aguas residuales a una PTAR localizada a varios kilómetros, deja de ser una solución viable desde el punto de vista económico, constructivo, y operable.

Por tal razón, los pueblos o asentamientos pequeños y aislados con baja densidad poblacional pueden ser atendidas por sistemas descentralizados que son más simples y rentables. (Butler & MacCormick, 1995).

Además, los sistemas descentralizados se pueden instalar de acuerdo a la topografía requerida, evadiendo así la costosa implementación de sistemas de tratamiento centralizados. Al mismo tiempo, los sistemas descentralizados permiten flexibilidad en la gestión y se pueden combinar una serie de procesos para cumplir con los objetivos del tratamiento y abordar los requisitos de protección de la salud pública y ambiental. Sin embargo, la concepción de dichos sistemas debe brindar a la población local acceso a los recursos, la educación y la información necesarios para influir en los problemas ambientales que los afectan es un paso crucial hacia la sostenibilidad. (Massoud et al., 2009).

2.3. Caracterización de las aguas residuales

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica. Las propiedades físicas: color, olor, sólidos, temperatura; las químicas: orgánicos, inorgánicos, gases; y las biológicas; plantas, animales, protistas y virus; básicamente se deben a su procedencia: domésticas, comerciales, industriales; de la degradación natural de la materia orgánica, de las infiltraciones, de conexiones incontroladas, residuos agrícolas y del agua de escorrentía que ingresa al sistema de alcantarillado sanitario.

El Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA, 2018) define a la caracterización de aguas residuales al proceso destinado al conocimiento integral y estadísticamente confiable de las características del agua residual (doméstica e industrial) e integrado por la toma de muestras, medición de caudal e identificación de los componentes físicos, químicos, biológicos y microbiológicos.

De esa manera, la caracterización de las aguas residuales responde a un programa de muestreo que debe ser representativo, reproducible, sustentado y útil. Los programas deben adaptarse a cada situación. En base a las variaciones en caudal y calidad se deberán analizar la situación en particular.

De acuerdo con (Metcalf & Eddy, 1995), los contaminantes de mayor interés en las aguas residuales son los siguientes:

Tabla 2

Contaminantes más importantes y sus respectivos indicadores de aguas residuales.

Contaminante	Indicador en laboratorio	Impacto ambiental
Sólidos suspendidos	Sólidos suspendidos totales (SST)	Pueden provocar depósito de lodos y de condiciones anaerobias cuando se descarga descontroladamente al ambiente
Materia orgánica biodegradable	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) Demanda Química de oxígeno (DQO)	Si se descargan al entorno sin tratar pueden ocasionar un agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y crear condiciones sépticas.
Organismos Patógenos	Coliformes fecales	Pueden transmitir enfermedades contagiosas por medio de estos organismos que se encuentran en las aguas residuales.
Nutrientes	Concentraciones de nitrógeno y fósforo	Si se vierten al entorno acuático en cantidades excesivas, estos pueden contribuir al crecimiento de una vida acuática indeseable. De igual forma, pueden ocasionar la contaminación de fuentes de agua subterráneas.
Contaminantes prioritarios	Elementos específicos (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, etc.)	Pueden ser tóxicos y algunos puede neutralizar el tratamiento biológico de aguas residuales. Estos provienen de aguas residuales comerciales e industriales.

2.3.1. *Métodos de muestreo*

La Normativa Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2176, establece guías sobre las técnicas de muestreo usadas para obtener los datos necesarios en los análisis de control de calidad, de las aguas naturales, aguas contaminadas y aguas residuales para su caracterización.

Dicho reglamento aplica las siguientes definiciones respecto al muestreo:

- Muestreo: Es el proceso de tomar una porción, lo más representativa, de un volumen de agua para el análisis de varias características definidas.
- Muestra compuesta: Es la formada por dos o más muestras o submuestras, mezcladas en proporciones conocidas, de la cual se puede obtener un resultado

promedio de una característica determinada. Las proporciones para la mezcla se basan en las mediciones del tiempo y el flujo.

- Muestra instantánea, puntual, individual: Es la muestra tomada al azar (con relación al tiempo y/o lugar de un volumen de agua).

Equipo de muestreo: Es el equipo usado para obtener una muestra de agua, para el análisis de varias características predefinidas.

En general, el objetivo es lograr una muestra de una composición representativa que nos indique el estado promedio de la PTAR. Es por eso que se recomienda tener presente los siguientes principios que ayudarán a conseguir una muestra con esas cualidades:

- Lugar: Elegir un lugar adecuado para tomar la muestra.
- Tiempo: Considerar el tiempo adecuado para tomar la muestra.
- Frecuencia: Tomar las muestras en la frecuencia adecuada.
- Técnica: Usar una técnica del muestreo adecuada

2.3.2. Aforos

Los aforos de caudal buscan cuantificar el volumen de agua que fluye a través de una sección transversal de un río, canal o tubería en un instante dado. Los dispositivos de medición de flujo generalmente se ubican en el tratamiento preliminar de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.(Monroy, 2010)

Entre los métodos más utilizados en canales abiertos se encuentra:

- Método volumétrico
- Vertederos
- Canal Parshall (medidor de régimen critico)
- Método hidráulico.

2.3.2.1. Método Volumétrico

Se emplea en flujos de pequeños caudales, siendo un método directo, se obtiene el caudal mediante la relación de volumen para unidad de tiempo.

Se expresa según la ecuación (1).

$$Q = \frac{V}{T} [L/s] \quad (1)$$

Q: Caudal [L/s]

V: Volumen de la probeta [L]

T: tiempo durante la descarga [s]

2.4. Proceso de Tratamiento

El tratamiento de aguas residuales generalmente se divide en dos grandes grupos: operaciones unitarias y procesos unitarios. En las operaciones unitarias, el tratamiento o remoción de contaminantes se lleva a cabo por fuerzas físicas. Por otro lado, en los procesos unitarios, el tratamiento ocurre predominantemente debido a las reacciones químicas y biológicas. Las plantas de tratamiento de aguas residuales utilizan una serie de operaciones y procesos unitarios para alcanzar el grado de tratamiento deseado. (Qasim & Zhu, 2018)

Dichas operaciones y procesos se presentan de acuerdo al nivel de tratamiento, ya sea un tratamiento preliminar, primario, secundario o terciario. En la **Tabla 3**, se detalla cada uno de ellos.

Tabla 3

Descripción de los niveles de tratamiento de aguas residuales.

Nivel de Tratamiento	Descripción	Ejemplos de tratamiento
Preliminar	Se retiene cualquier objeto (basura, trapos, granos gruesos) que pueda afectar el funcionamiento y/o mantenimiento en las operaciones y procesos unitarios.	Rejas de entrada o desarenador son parte del proceso preliminar.
Primario	En el tratamiento primario convencional se elimina parte de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica,	El tanque séptico es el método más comúnmente usado para el tratamiento primario en sistemas de tratamiento descentralizados.
Secundario	Se enfoca principalmente en la remoción de sólidos en suspensión y compuestos orgánicos biodegradables. Normalmente se	Filtros anaerobios y humedales artificiales son sistemas comunes para este nivel de tratamiento.

incluye la desinfección como parte del tratamiento secundario.

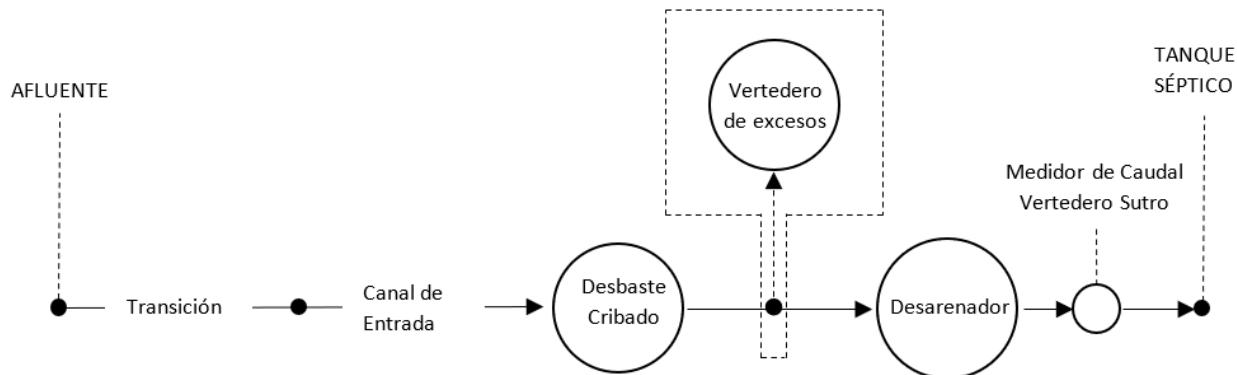
Terciario	Tratamiento para eliminar compuestos tóxicos, organismos patógenos y excesos de materia orgánica o sólidos en suspensión que no fueron removidos en los procesos anteriores.	Métodos artificiales como cloración, ozonización, radiación ultravioleta, entre otros.
------------------	--	--

Adaptado de: Metcalf & Eddy, 1991, por elaboración propia

2.4.1. Tratamiento Preliminar

Figura 2

Diagrama de Flujo del Tratamiento Preliminar



Nota. Diagrama de flujo del circuito del agua residual en el tratamiento preliminar.

2.4.1.1. Canal de Entrada

Se entiende por canal a un conducto abierto en el cual el agua fluye con una superficie libre. Las propiedades hidráulicas de estos canales pueden ser controladas hasta un nivel deseado, es por ello que los resultados serán similares a las condiciones reales y, por consiguiente, son razonablemente exactos para propósitos prácticos de diseño (Chow, 1959).

Entre los canales más usuales tenemos:

Tabla 4

Ventajas y Desventajas en los tipos de canales propuestos.

Tipo de Canal	Ventaja	Desventaja
Triangular	Menor área de contacto.	Mayor altura de borde libre en la sección
	Mayor ancho superficial del espejo de agua.	Complicación en mediciones de caudal.
	Menor cantidad de gasto y perdida de velocidad.	Funciona en tramos cortos y poco caudal de agua.
	Fácil mantenimiento y limpieza.	
Rectangular	Poca sedimentación en su lecho de fondo.	
	Facilidad de trazado	Mayor área de contacto y rozamiento.
	Uniformidad tanto en la base como en el espejo de agua.	Mayor sedimentación en su lecho de fondo.
	Tirante de agua uniforme.	
	Menor altura de borde libre	
	Fácil mantenimiento y limpieza.	
	Pérdida de carga y velocidad más precisos.	
	Obtención sencilla del caudal y tirante de agua.	

2.4.1.2. Transición

De acuerdo al esquema hidráulico planteado, el agua residual, después de salir de la tubería de PVC, debe transitar hacia la conducción, siendo este un canal abierto. Para lograr un eficiente desempeño de este conjunto de elementos es esencial ubicar una estructura que cumple con este trabajo, denominando a esta estructura transición.

Se utiliza para dar continuidad al flujo en la configuración de estructuras más complejas y para su diseño se ha puesto como base los siguientes criterios:

- Minimización de las pérdidas de energía
- Eliminación de ondulaciones grandes y de los vórtices.

- Eliminación de zonas con agua tranquila o flujo muy retardado
- Permite llevar un control de los niveles de agua

De conformidad con el Bureau of Reclamation, se recomienda que el ángulo máximo entre la dirección del flujo entrante o saliente y la dirección del eje de la estructura a la entrada y la salida no exceda de 12.5°(Cisneros, 2021)

En el estudio de las transiciones es necesario distinguir si a lo largo de la estructura hidráulica existe un cambio de régimen. En ciertos casos el diseño y funcionamiento se ve afectado por la presencia de fenómenos exclusivos en cada tipo de régimen; en el caso de régimen subcrítico, cualquier perturbación en la velocidad o en el tirante puede transmitirse hacia aguas arriba; en el caso de régimen supercrítico, la transición es únicamente hacia aguas abajo. (Jarrín, 2014)

2.4.1.3. Cribado o reja de entrada

La reja de entrada esta creada a partir de barrotes verticales o inclinados según sea el tipo de lavado, ante grandes flujos de agua tendrán que ser lo suficientemente resistentes para soportar el impacto de material granular, material flotante u otro tipo de elemento que pueda acarrear el canal en época de crecientes.

El método de limpieza clasifica en rejillas de limpieza manual o mecánica. Además, el tamaño de abertura cataloga en rejilla gruesas o finas. Para aberturas gruesas se tiene dimensiones iguales o mayores a 0.64 cm o $\frac{1}{4}$ in, mientras que las finas tienen aberturas menores de $\frac{1}{4}$ in.

La **Tabla 5** indica las principales características de los barrotes, cuya información será útil al momento de realizar el diseño.

Tabla 5

Características de los barrotes

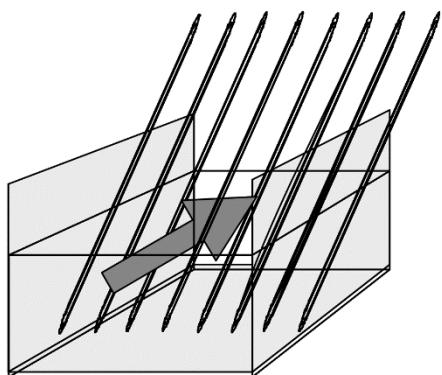
Característica	De limpieza manual	De limpieza mecánica
Ancho de las barras	0.5-1.5 cm	0.5-1.5 cm
Profundidad de las barras	2.5-7.5 cm	2.5-7.5 cm
Abertura o espaciamiento	2.5-5.0 cm	1.5-7.5 cm
Pendiente con la vertical	30°-45°	0°-30°
Velocidad de acercamiento	0.3-0.6 m/s	0.6-1 m/s
Pérdida de energía permisible	15 cm	15 cm

Nota. Adaptado de *Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño* (p. 288), por (Romero, 2000), Escuela Colombiana de Ingeniería.

Como podemos apreciar en la **Figura 3**, los barrotes normalmente son fabricados de varillas de acero o de perfiles I.

Figura 3

Esquema de la reja de entrada



Nota. Adaptado de *Wastewater characteristics, treatment and disposal* (p. 179), por (Marcos Von, 2007), IWA.

La pérdida de carga que ocurre a través de la rejilla es determinada a partir de la ecuación (10) y de Kirshmer. En la expresión de la reja parcialmente sumergida interviene el factor de forma, el ancho máximo de la sección transversal de las barras, el espaciamiento mínimo entre barras, carga de velocidad y la inclinación de la rejilla con respecto a la horizontal(Romero Rojas, 2000).

Los coeficientes de pérdida o forma según Kirschmer se encuentra en el apartado de Apéndice, **Figura 32**.

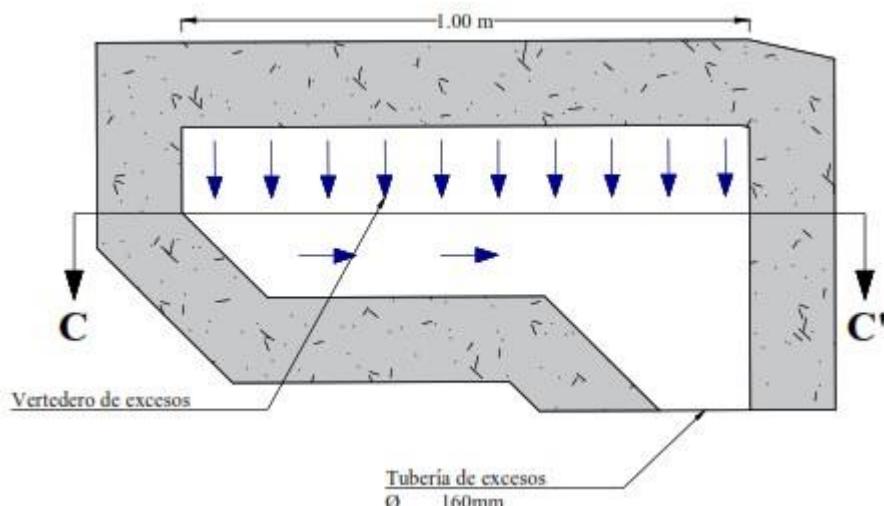
2.4.1.4. Control del flujo

Una de las estructuras más empleadas e indispensable para regular el flujo en escenarios de crecida, es el vertedero lateral de excesos, por simplicidad su diseño se centra en flujo unidireccional.

El vertedero lateral, aliviadero o una bifurcación puede interpretarse como uno de los casos más comunes de gastos decrecientes en flujo espacialmente variado. La imagen posterior representa el vertedero lateral de excesos habitualmente diseñado.(Sotelo Ávila, 2002)

Figura 4

Corte en Planta de un vertedero lateral



Nota. Representa el corte en planta de un vertedero lateral con paredes paralelas.

Se ha verificado que no es posible una solución analítica completa de las ecuaciones que modelan el flujo en canales de cualquier sección con vertedero lateral. Es por ello que se han usado métodos aproximados basados en experimentos dentro de un intervalo de la gran cantidad de variables que intervienen.

Se ha comprobado que para flujo subcrítico el perfil de flujo decae al inicio de la abertura, y continúa aumentando hasta alcanzar una carga de energía similar al de aguas abajo.

2.4.1.5. Sedimentación

La sedimentación consiste en la separación por diferencia de densidad las partículas suspendidas del medio, cuyo peso específico es mayor que el agua. Generalmente, este proceso forma parte de la etapa preliminar del tren de tratamiento de aguas residuales. En la mayoría de los casos, el objetivo principal es obtener un efluente clarificado.

La sedimentación se puede clasificar en función de la concentración y de la tendencia a la interacción de las partículas, entre ellos se encuentra Discreta, Floculenta, Retardada y Compresión. (Sperling, 2007a)

Rivas en su apartado discute los factores que influencian en la sedimentación, indica los siguientes casos:

- Características del líquido
- Características de los sólidos
- Características físicas del diseño.
- Efectos misceláneos.

La viscosidad es esencialmente importante y se ve condicionado por la temperatura del líquido, por lo que recae dentro del factor de características de líquidos. Además, es preponderante anotar que la calidad del efluente se ve influenciado cuando se trata de remover partículas de muy distinta densidad, arenas (± 2.65), sólidos orgánicos (± 1.20) y de flóculos producidos a través de una coagulación química (entre ± 1.08 a 1.001 , aproximadamente) (Romero Rojas, 2000).

2.4.1.6. Vertedero Proporcional Sutro

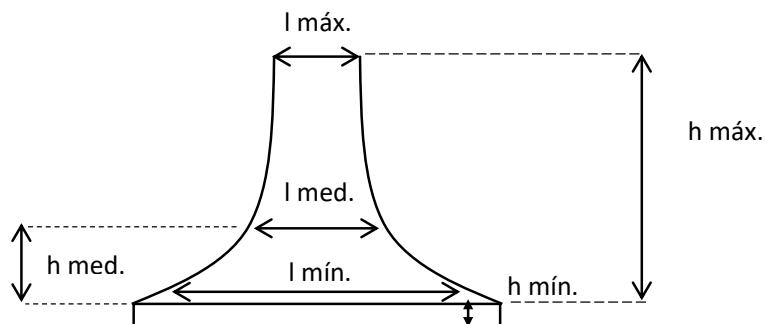
El vertedero proporcional Sutro es otro dispositivo de descarga cuyo objetivo es:

- Control de velocidad.
- Medición de Caudal.
- Regular el caudal proporcionalmente a la carga.

Comúnmente es usado en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales rurales, donde el bajo caudal permite acoplarse a la geometría del canal. Sin embargo, para caudales mayores se recomiendan dispositivos de control tipo Parshall.

Figura 5

Vertedero Sutro convencional



2.5. Tratamiento Primario

Comúnmente el porcentaje de remoción se encuentra alrededor del 60% para los sólidos suspendidos y un 30% la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5). La eficiencia de remoción de sólidos suspendidos y DBO puede ser mejorada con la adición de coagulantes, dentro del tratamiento primario anaerobio encontramos tanques de sedimentación y tanques sépticos.

Es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

Tabla 6

Ventajas y Desventajas del Tanque Séptico.

Ventajas	Desventajas
Apropiado para comunidades rurales, edificaciones, condominios, hospitales, etc.	De uso limitado para un máximo de 350 habitantes.
Su limpieza no es frecuente.	Uso limitado a la capacidad de infiltración del terreno que permita disponer adecuadamente los efluentes en el suelo.
Tiene un bajo costo de construcción y operación.	Requiere facilidades para la remoción de lodos (bombas, camiones con bombas de vacío, etc.)
Mínimo grado de dificultad en operación y mantenimiento si se cuenta con infraestructura de remoción de lodos.	

Nota. Adaptado de: (OPS, 2005a)

2.6. Tratamiento Secundario

A lo largo del tren de tratamiento de aguas residuales, se busca eliminar principalmente la materia orgánica y los microrganismos patógenos presentes en el agua residual. Aun con el tratamiento preliminar y primario es necesario realizar un tratamiento secundario en donde se elimina la materia orgánica biodegradable soluble y en suspensión.

Debido a su bajo costo y alta eficiencia en remoción de materia orgánica biodegradable, se busca estabilizar la materia orgánica por medio de procesos biológicos. Como una breve

síntesis, la materia orgánica continua por diferentes procesos de descomposición hasta encontrar moléculas más simples a biodegradar.

Los procesos biológicos se dividen en dos grupos; los anaerobios y los aerobios. En donde el proceso anaerobio se caracteriza por tener una baja tasa de síntesis bacteriana o de producción de lodos de desecho. Por el contrario, en el tratamiento aerobio, se requiere una mayor cantidad de energía del sustrato a utilizar, por lo que hay una mayor generación de biomasa o lodo no estabilizado, aumentando el costo y mantenimiento.(Noyola et al., 2013)

Dependiendo del diseño empleado, el tratamiento secundario podrá ser parte del proceso en el tren de tratamiento de aguas residuales o ser enviado a su disposición final, los sistemas de disposición en tierra que también forman parte del grupo de tratamientos secundarios es uno de los mejores ejemplos.

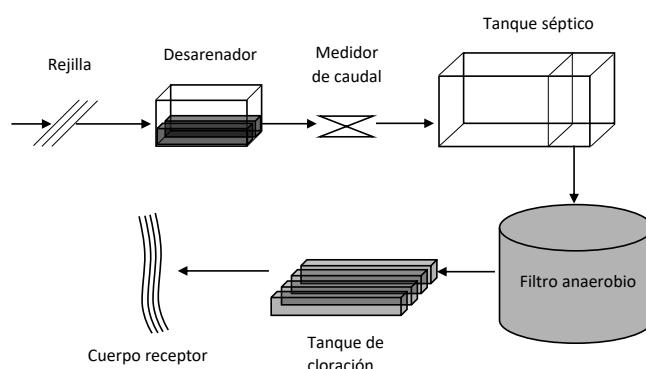
2.6.1. Reactores Anaerobios

Entre las variedades presentes, el conjunto de filtros anaerobios y UASB son los más utilizados por sus claras ventajas en la remoción de grandes cantidades de materia orgánica en un corto periodo de tiempo o retención hidráulica.

La combinación entre tanque séptico más filtro anaerobio ha sido operado en áreas rurales y pequeñas comunidades dando buenos resultados. En donde el tanque séptico remueve la mayor parte de sólidos suspendidos. Cabe mencionar que, los tanques sépticos al ser una derivación de los tanques de sedimentación carecen de reacciones bioquímicas en la fase líquida, es por esto que su remoción de DBO es limitada (Sperling, 2007b).

Figura 6

Diagrama parcial del tren de tratamiento de aguas residuales



2.7. Tratamiento Terciario

Gran cantidad de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales ubicadas en zonas rurales y periurbanas en la ciudad de Cuenca constan de un sistema incompleto, por lo que, la necesidad de remover o eliminar los microrganismos patógenos es fundamental para evitar la propagación de enfermedades gastrointestinales.

(Noyola et al., 2013), en su apartado 1.3.1. define como tratamiento terciario o avanzado, el tipo de tratamiento cuyo mecanismo facilita la remoción de compuestos; sólidos suspendidos, nutrientes y materia orgánica no biodegradable. Es sumamente importante dar el tratamiento necesario a todo tipo de agua residual sujeta a las restricciones de descarga cumpliendo una calidad específica.

El tipo de tratamiento propuesto obedece a un criterio técnico y económico, tomando en consideración aspectos cuantitativos y cualitativos. A continuación, se presentan los principales procesos de remoción de microorganismos patógenos (Sotelo Ávila, 1994).

Tabla 7.

Principales procesos de remoción de microorganismos patógenos.

Tipo	Proceso	Comentario
Natural	Lagunas de Maduración	Lagunas poco profundas, en donde la radiación ultravioleta y las condiciones ambientales desfavorables provocan una alta mortalidad de patógenos.
		No se necesita químicos ni energía adicional, pero requiere grandes áreas.
Natural	Tratamiento en suelo (Infiltración en suelo)	Son sistemas altamente recomendables (si hay suficiente área disponible) por su gran sencillez y bajo coste.
		Las condiciones desfavorables en el suelo favorecen la mortalidad de los patógenos.
Artificial	Cloración	En sistemas de irrigación (slow-rate), hay la posibilidad de contaminación de la PTAR, dependiendo del tipo de aplicación.
		No se requiere productos químicos.
Artificial		Requiere grandes áreas.
		El cloro elimina microrganismos patógenos (aunque los quistes de protozoos y los huevos de helmintos no se ven afectados)
Artificial		A mayores dosis necesarias, mayores costos operativos. Cuanto mayor sea la remoción previa de materia orgánica, menor será la dosis de cloro requerida.

Tipo	Proceso	Comentario
Artificial	Ozonización	<p>Existe la preocupación en la generación de subproductos tóxicos para los seres humanos. Sin embargo, el beneficio en salud pública es mayor.</p>
		<p>La toxicidad causada por el cloro residual en los cuerpos de agua también es motivo de preocupación. El cloro residual debe tener niveles muy bajos, frecuentemente requiere declaración.</p>
		<p>Existe una amplia experiencia en tratamientos de agua en varios países en desarrollo.</p>
		<p>El ozono es un agente muy eficaz para la eliminación de patógenos.</p>
	Radiación Ultravioleta	<p>La Ozonización suele ser costosa, aunque los costos están disminuyendo, lo que hace una alternativa competitiva en circunstancias específicas.</p>
		<p>Hay menor experiencia con la ozonización en la mayoría de los países en desarrollo.</p>
Membranas		<p>La Radiación Ultravioleta, generada por lámparas especiales, afecta la reproducción de agentes patógenos.</p>
		<p>No se genera subproductos tóxicos.</p>
		<p>Idealmente, el efluente debe ser clarificado de modo que la radiación penetre en el cuerpo líquido.</p>
		<p>Recientemente este proceso ha mostrado un desarrollo sustancial, lo que lo ha hecho más competitivo o más ventajoso que la cloración en diversas aplicaciones.</p>
		<p>El paso de aguas residuales tratadas a través de membranas con dimensiones muy pequeñas (por ejemplo; ultrafiltración, nanofiltración) constituyen una barrera física para los microorganismos patógenos, que tienen dimensiones mayores a los poros.</p>
		<p>El proceso es muy interesante y no introduce productos químicos en el líquido.</p>
		<p>Los costos aún son altos, pero se han ido reduciendo significativamente en los últimos años.</p>

2.8. Tratamiento de Lodos

La creciente demanda por parte de la sociedad junto agencias ambientales hacia mejores estándares de calidad ambiental se ha visto manifestado en administradores en saneamiento de servicio público y privado. Por lo que, mejores características ambientales se traducen a una mayor captación de residuos sólidos.

Usualmente el término “Lodo” ha sido usado para designar los subproductos sólidos del tratamiento de aguas residuales. Por lo que en los procesos biológicos, parte de la materia orgánica absorbida y convertida en biomasa microbiana se la conoce como lodos secundarios o biomasa (Andreoli et al., 2007).

El manejo de lodos en una planta de tratamiento de aguas residuales resulta inevitable, por lo que los costos de operación y mantenimiento resultan hasta en un 50% de la inversión total. Según sea el origen de los lodos, será su tipo de tratamiento específico, comúnmente se opta por confinar en rellenos sanitarios (Noyola et al., 2013).

El tratamiento de lodo incluye los siguientes procesos.

Tabla 8

Etapas del tratamiento de Lodos.

Etapas	Características
Espesamiento	Eliminación de agua (reducción de volumen) Espesamiento por gravedad
	Flotación de aire disuelto
	Tipo de Proceso Físico Centrifuga
Estabilización	Filtro de prensa en banda
	Eliminación de materia orgánica-solidos volátiles (reducción de masa) Digestión anaerobia
	Consiste en atenuar la generación de malos olores, durante el procesamiento y disposición final. Esto se logra eliminando la materia orgánica biodegradable de los lodos. Digestión aerobia
Acondicionamiento	Tratamiento Térmico
	Estabilización química
	Preparación para la deshidratación Acondicionamiento Químico (principalmente mecánica)
	Proceso de preparación de lodos, basado en la adición de productos químicos como Acondicionamiento Térmico

Etapas	Características
	coagulantes, polielectrolitos) aumentando su capacidad de deshidratación.
	Eliminación de agua (reducción de volumen)
	Lechos de secado
	Laguna de lodos
	Prensa de filtro
Deshidratación	Se puede realizar por medios naturales o mecánicos. Tiene como objetivo eliminar agua y reducir el volumen.
	Centrifuga
	Filtro de prensa en banda
	Filtro de vacío
	Secado Térmico
	Eliminación de organismos patógenos
	Adición de Cal
	Tratamiento Térmico
	Compostaje
	Oxidación por aire húmedo
	Otros (gamma, radiación, etc.)
Desinfección	digestión anaerobia o aerobia no reducen el contenido de patógenos a niveles aceptables. No es necesario si el lodo se va a incinerar o desechar en vertederos.
	Destino final de los subproductos.
	Reciclaje agrícola
	Recuperación de áreas degradadas
	Uso no agrícola (combustible)
	Incineración
	Oxidación por aire húmedo
Disposición Final	Relleno sanitario

2.9. Operación y Mantenimiento

Para operar exitosamente un sistema de tratamiento de aguas residuales a más de contar con un sistema de diseño apropiado, se debe contar con un personal de operación y mantenimiento capacitado adecuadamente y ajustado a los requerimientos de dicha operación.

Por lo mencionado, toda planta de tratamiento debe considerar un plan de mantenimiento dentro de su operación, la programación de los diferentes tipos de mantenimiento: preventivo, correctivo y predictivo forman parte de la gestión de operación, y estos deben tomar en cuenta, tanto los equipos como los procesos de tratamiento.

En el caso de las plantas de tratamiento rurales, debido a que los sistemas deteriorados y defectuosos son costosos para una comunidad, es esencial el mantenimiento adecuado de un sistema de tratamiento de aguas residuales descentralizado. Al igual que los sistemas centralizados de aguas residuales, los sistemas descentralizados requieren una operación y un mantenimiento efectivo que no deben subestimarse. (Massoud et al., 2009).

Pensamiento que reafirma (Ordóñez, 2008), en su evaluación de las PTAR's rurales del cantón Cuenca, al mencionar que, ningún sistema por simplificado y de tecnología apropiada que sea puede trabajar solo, sin el concurso de acciones de operación y mantenimiento.

2.10. Normativa Vigente en el Ecuador

La ley de prevención y control de la contaminación ambiental (LPCCA) publicado en el registro oficial No. 097 del 31 de mayo de 1976 dio inicio al manejo y cuidado ambiental en el Ecuador. A partir del 12 de abril de 2018, El Código Orgánico de Ambiente entro en vigencia mediante el Registro Oficial No. 983 reemplazando al Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA).

Entre los diferentes artículos que forman parte de la Constitución de la República del Ecuador, el numeral 2 del artículo 66 determina como derecho y garantía de las personas a una vida digna, que asegure la salud y saneamiento ambiental.(Ecuador, 2008)

La gestión integral de residuos sólidos y desechos peligrosos y especiales, suscrito en el Libro III, Titulo V, capítulo III del Código Orgánico del Ambiente aborda el principio de jerarquización en orden de prioridad:

- Prevención;
- Minimización de la generación en la fuente;
- Aprovechamiento o valorización;
- Eliminación; y,
- Disposición final

La gestión integral de los residuos y desechos está sometida a la tutela estatal cuya finalidad es contribuir al desarrollo sostenible, considerando la disposición final a la fuente más cercana, minimizando posibles riesgos sanitarios y ambientales. (COA, 2018)

La siguiente tabla nos indica los límites máximos permisibles a ser descargados en una fuente de agua dulce.

Tabla 9*Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce*

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	30
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	2000
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Demandia Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D. B. O ₅ .	mg/l	100
Demandia Química de Oxígeno	D. Q. O.	mg/l	200
Fósforo Total	P	mg/l	10
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Nitrógeno amoniacial	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	30,0
Nitrógeno total Kjeldahl	TKN	mg/l	50
Potencial de Hidrógeno	pH		6-9
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Temperatura	T	°C	Condición natural ± 3

Adaptado de: (Ministerio del Ambiente, 2015)

Capítulo 3 – EVALUACIÓN DE LA PTAR

3.1. Evaluación de la PTAR

3.1.1 Descripción del área de estudio

Santa Ana está ubicada al sur de la región interandina, posee un clima Ecuatorial Mesotérmico Semihúmedo, el promedio anual de las precipitaciones oscila entre 500 a 200 mm. La época lluviosa está presente en los meses de febrero a mayo y de octubre a noviembre. La temperatura anual promedio varía entre 12°C a 20°C, siendo la máxima de 30°C y una mínima de 6°C, presenta una humedad relativa entre 65% al 85%.

La Parroquia Santa Ana se divide en 21 comunidades, dentro de las cuales se encuentra la comunidad de El Chorro con una superficie de 419,84 Ha. En mencionada comunidad se encuentra ubicada la PTAR El Chorro, exactamente en las coordenadas geográficas 2°57'26.6"S 78°55'58.4"W.

La PTAR está emplazada en una superficie de 873 m², la cual tiene un área de cobertura aproximada de 47,9 ha, que se traduce en dar servicio alrededor de 25 hogares o 150 habitantes. La misma se configura de una estructura de derivación de caudal, seguido de un tanque séptico más un filtro anaerobio.

3.1.2. Análisis poblacional

Para el análisis poblacional de la comunidad El Chorro, se ha recopilado información del auto censo comunitario llevado a cabo por el Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial de Santa Ana (GADP Santa Ana) en el año 2010, y de los censos nacionales realizados por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC).

Tabla 10

Población de la parroquia rural Santa Ana y la comunidad El Chorro

	1990	2001	2010
El Chorro	-	-	328
Santa Ana	2254	2495	5366

Adaptado de: INEC 2010

La población total de la comunidad El Chorro en el año 2010 representa un 6.1% de la población total de la parroquia Santa Ana. La mayor cantidad de la población de la parroquia se encuentra concentrada entre las edades comprendidas entre 1 a 24 años; esto quiere decir que los infantes y principalmente los jóvenes son la población predominante. (GAD Parroquial Santa Ana, 2019) Vale mencionar que, los datos poblacionales de El Chorro, comprenden tanto a la comunidad de El Chorro y Chorro Alto, sin embargo, la PTAR El Chorro brinda servicio únicamente para la comunidad El Chorro.

La utilización de series históricas de datos poblacionales para la realización de proyecciones futuras se ha convertido en una práctica común en el campo de la demografía. Sin embargo, es importante tener en cuenta que dicha metodología solo puede ser confiable si los datos utilizados son precisos y representativos de la población estudiada. En el caso de la parroquia rural de Santa Ana, en Ecuador, la serie histórica de datos poblacionales no es una fuente fiable para la realización de proyecciones debido a varios factores. En primer lugar, el Ecuador ha sufrido eventos migratorios significativos en las últimas décadas, especialmente en el sector rural. Estos movimientos migratorios han alterado el patrón de crecimiento poblacional de la parroquia, lo que hace que los datos históricos no sean representativos de la población actual. Además, la pandemia del COVID-19 ha tenido un impacto significativo en la población ecuatoriana, y es probable que haya afectado también a la población de la parroquia de Santa Ana. Por lo tanto, se recomienda utilizar otras fuentes de información más actualizadas y precisas para realizar proyecciones poblacionales en esta zona.

Debido a la puntualización anterior, se realizó una visita de campo en octubre del año 2022 con el objetivo de contabilizar las viviendas que están conectadas al sistema de alcantarillado, que alimenta la PTAR. Además, se entrevistó a los habitantes de la zona para poder determinar una densidad promedio por vivienda. Partiendo del trabajo detallado anteriormente, se revisaron imágenes satelitales en el sistema de información geográfica Google Earth en el que se pudo encontrar un número de viviendas en los años 2008 y 2016. De esa manera, se pudo contar con 3 datos históricos que permitan realizar proyecciones regidas a modelos matemáticos para estimar la población futura.

En la **Tabla 11**, se resume los datos recopilados de número de viviendas para los años 2008, 2016 y 2022, al igual que la densidad por vivienda promedio.

Tabla 11

Población de la comunidad El Chorro de acuerdo al número de viviendas y densidad por vivienda.

	2008	2016	2022
Número de viviendas	23	37	41
Densidad promedio (Hab/vivienda)		6	
Población	138	222	246

3.1.3. Servicio de saneamiento

El 50% del poblado cuenta con un sistema de alcantarillado y el resto de los habitantes utilizan tanques sépticos. En el manejo de los desechos sólidos se brinda el servicio mediante el carro recolector de la EMAC con una frecuencia de dos veces por semana, y los desechos orgánicos son utilizados como abono.

La red de alcantarillado sanitario cubre principalmente la zona centro-este de la comunidad, donde se asienta la mayoría de la población por presentar menores pendientes en relación a la zona oeste. El resto de predios, que son la minoría, eliminan las aguas servidas a través de tanques sépticos y pozos ciegos individuales, o descargan directas a las quebradas que terminan en el Río Quingeo.

3.1.4. Estudios de campo y laboratorio

Mediante el uso de una estación total RUIDE R2 (China), proporcionado por la Facultad de Ingeniería se realizó el levantamiento planimétrico y altimétrico de la PTAR El Chorro. El levantamiento topográfico permitió conocer las coordenadas exactas del terreno donde se encuentra la PTAR, así como las dimensiones y configuración del tren de tratamiento existente. Por parte de ETAPA, se proporcionó las dimensiones de la estructura, como largo, ancho, y profundidad, sin embargo, no fue posible obtener planos que brinden información con respecto al diseño original.

El procesamiento y depuración de la información se realizó a través de las herramientas computacionales AutoCAD y Civil 3D (Autodesk, EUA), para la elaboración final de los planos del sistema de tratamiento al igual que las curvas de nivel del terreno.

3.1.5. Caracterización

La caracterización de la muestra fue de tipo compuesta. La misma que se realizó por 24 horas ininterrumpidas con muestras tomadas cada hora. El trabajo de muestreo se realizó en el mes de febrero de 2022. Por motivos de taponamiento a la salida de la planta se tomó las muestras únicamente del afluente. Sumado a la muestra compuesta, al día siguiente personal de ETAPA, tomaron muestras puntuales a la entrada y salida del tanque séptico, así como del efluente de la PTAR.

En cuanto a la metodología adoptada para la toma de muestras, el manejo y la conservación de las mismas, se realizó conforme a lo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:2013. El análisis de las muestras fue realizado en el Laboratorio de Saneamiento de ETAPA EP.

Para el análisis de resultados se tomó en cuenta 17 muestreos más realizados por ETAPA EP, comprendidos entre el mes de noviembre de 2015 y el mes de mayo de 2022. Vale aclarar que todas las muestras anteriores fueron de tipo puntual.

Los parámetros analizados en laboratorio fueron: Conductividad Eléctrica, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Fósforo Total (P), Nitrógeno Amoniacal (NH4-N), Nitrógeno Orgánico (N), Oxígeno Disuelto (OD), Potencial Hidrógeno (pH), Sólidos Suspendidos (SS), Sólidos Totales (ST), Coliformes Totales (CT) y Coliformes Termotolerantes (CTE).

3.1.6. Aforos

Debido a la ausencia de vertederos o estructuras de medición de caudal, se optó por realizar aforos por medio del método volumétrico a través de un balde y probetas plásticas. Las medidas se realizaron cada hora por un día completo. Este método se lo considera sencillo y confiable, siempre y cuando se garantice que todo el aforo llegue al recipiente calibrado. Este método nos permite trabajar sin inconvenientes al tratarse de una tubería de descarga al nivel del suelo. Al igual que el caso del muestreo, las mediciones de caudal se realizaron únicamente a la entrada de la planta.

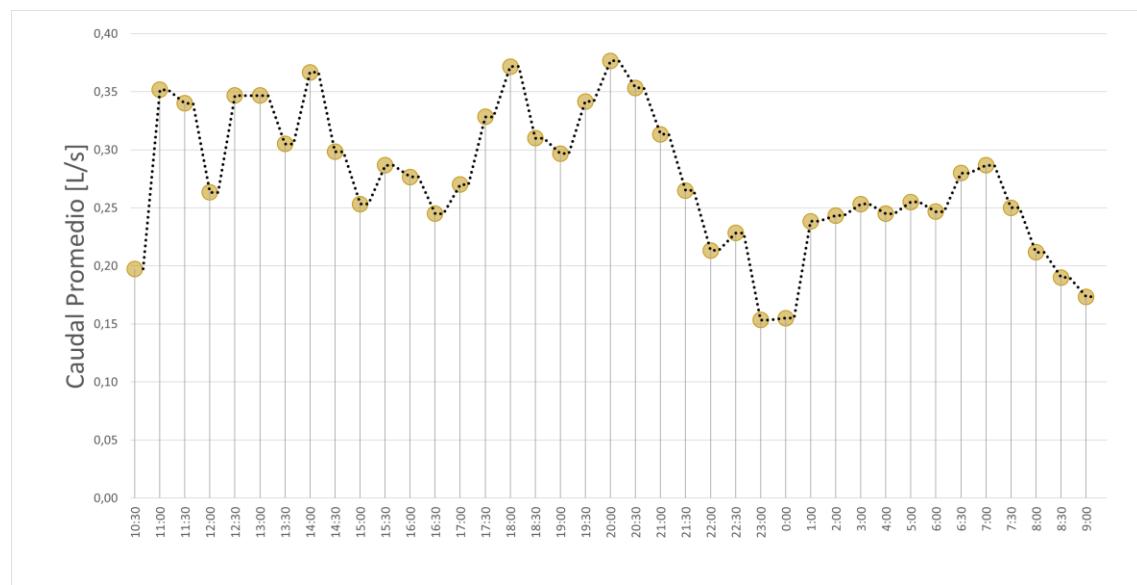
Para el presente trabajo se estableció como puntos de control el ingreso y la salida de la planta de tratamiento. Sin embargo, el filtro anaerobio al presentar una obstrucción en la red de tuberías carecía de un flujo constante, considerándose un simple lagrimeo. Como método empleado se incluye el método volumétrico manual. A lo largo de 24 horas en intervalos de 1 hora, se efectúo

la medición junto a un cronómetro y un recipiente calibrado. En donde el procedimiento seguido, involucra la toma de la muestra desde que el recipiente es introducido a la descarga hasta que se retirada de ella; la relación de estos valores permite conocer el caudal en el instante dato. En particular, el procedimiento de la toma de muestras compuestas en caudal, se realizó con una probeta calibrada junto a un cronómetro. El cronómetro registra un tiempo conocido, al momento de retirar el recipiente conectado manualmente a la tubería obtenemos un caudal instantáneo.

De esta manera, el conjunto de puntos representa la variación del caudal a lo largo del día.

Figura 7

Variación del caudal de entrada a la PTAR El Chorro



El grafico anterior enseña picos marcados a las 7:30, 14:00, 18:00, y 20:30; así mismo, existen un valle en horas de la noche y madrugada. Variaciones esperadas para una comunidad rural de estas características.

3.1.7. Características físicas, químicas y microbiológicas

De acuerdo al análisis realizado a las caracterizaciones históricas, se identificaron valores atípicos que podrían deberse a errores en el muestreo o análisis en laboratorio; por tal razón, en discusiones junto al director de tesis y la Ing. Verónica Rodas, quien es la coordinadora de las plantas rurales de ETAPA, se decidió excluir valores puntuales de la base de datos original como parte del análisis y depuración de los resultados de laboratorio.

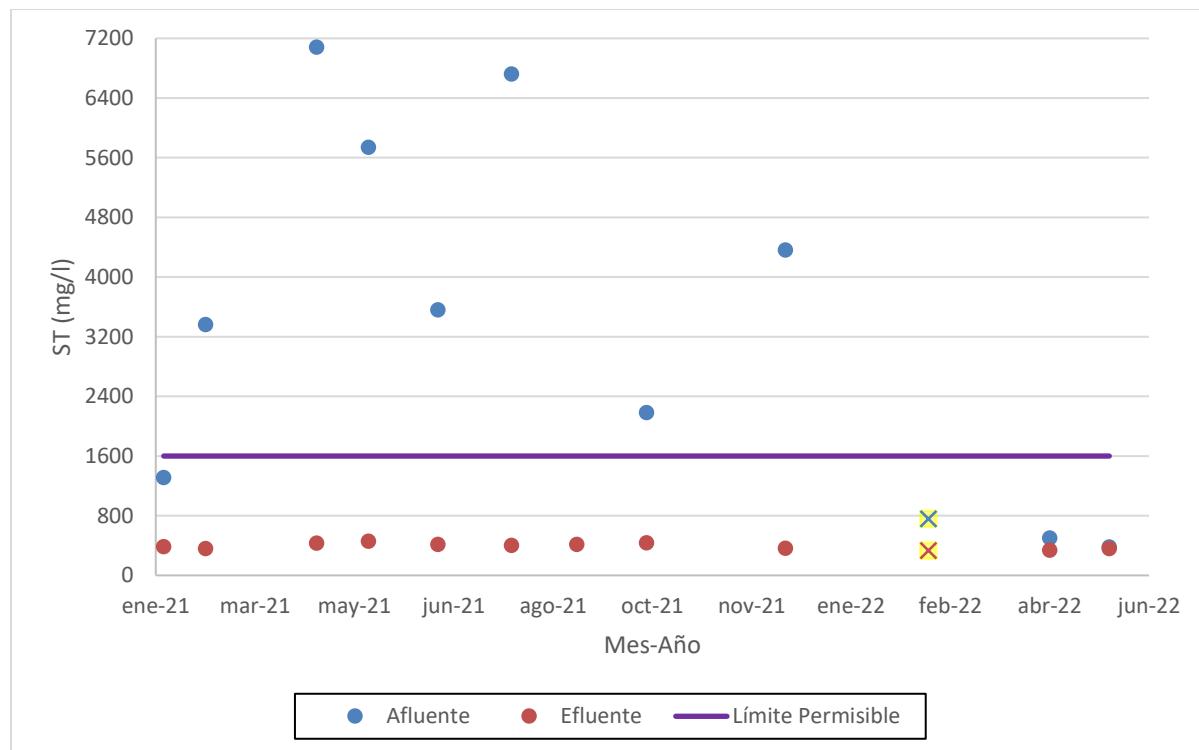
Sumado a esto, los valores presentados a continuación sobre la concentración de los diferentes parámetros analizados en laboratorio se refieren a la mediana. Esto se debe a que, a diferencia de la media, la mediana no se ve influenciada de sobremanera por valores pico de caracterizaciones específicas. Dicho análisis se desarrolla tomando como base los parámetros establecidos por la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua; cuyos valores permisibles se detallaron en la sección Normativa Vigente en el Ecuador de este trabajo de titulación.

3.1.8. Características físicas

3.1.8.1. Sólidos totales (ST)

Según las series históricas, recuperadas por ETAPA, la concentración mediana de sólidos totales (ST) en el afluente es de 1816.50 mg/L y de 402 mg/L en el efluente. Como se puede ver en la **Figura 8**, en el afluente, existen datos que representan concentraciones excesivamente altas de sólidos totales. Sus valores se justifican en las malas prácticas de muestreo por parte de los trabajadores de ETAPA EP, errores que pudimos presenciar al observar cómo obtenían muestras puntuales de la parte superior del tanque séptico donde se pueden capturar una masa de sólidos flotantes.

Si realizamos un énfasis en los resultados obtenidos en la muestra compuesta realizada por los autores de la presente tesis (puntos resaltados de color amarillo) en febrero del año 2022, vemos como dista de gran manera de la mediana de la serie histórica del afluente. Diferencia explicada en el párrafo anterior, a más, de que el día del muestreo se encontró un agua residual significativamente diluida, lo que representa un aporte importante de aguas de infiltración (época de invierno), así como aguas ilícitas que significaría un mal uso del alcantarillado por parte de los usuarios. En el muestreo compuesto de febrero de 2022, encontramos que tanto la concentración del afluente como efluente se encuentran por debajo del límite que dicta la normativa de 1600mg/L. Esto se puede explicar en la dilución encontrada de la muestra, así como cierta permisividad en la normativa al aceptar concentraciones de sólidos totales altos para su descarga a un cuerpo de agua dulce, ya que posee el mismo valor límite que para una descarga en una red de alcantarillado.

Figura 8*Análisis histórico de los sólidos totales ST***Tabla 12***Serie histórica de muestreos de sólidos totales ST.*

Fecha de muestreo (Mes-Año)	Solidos Totales	
	Afluente (mg/L)	Efluente (mg/L)
Jan-21	1310	385
Feb-21	3360	360
Apr-21	7080	430
May-21	5740	456
Jun-21	3560	413
Jul-21	6720	402
Aug-21	20330	414
Sep-21	2180	435
Dec-21	4360	364
Feb-22	776	331

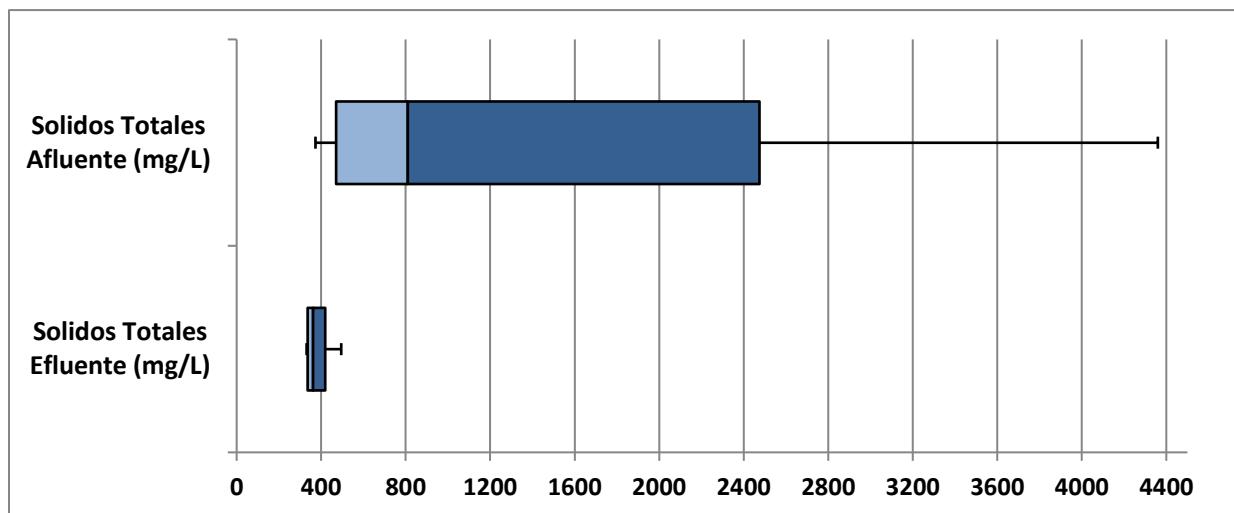
Fecha de muestreo (Mes-Año)	Solidos Totales Afluentes (mg/L)	Solidos Totales Efluente (mg/L)
Apr-22	500	337
May-22	380	358

La alta dispersión de puntos en el muestreo de aguas residuales se debe a diversas razones que han sido explicadas previamente. Entre ellas se encuentran la variabilidad inherente de las características de las aguas residuales, como su composición química y carga contaminante, así como las condiciones hidrológicas y ambientales cambiantes. Estos factores, combinados con las posibles fuentes de error en las técnicas de muestreo y análisis, generan una amplia variabilidad en los resultados obtenidos. Por tanto, es crucial considerar y mitigar estas fuentes de dispersión para obtener una imagen precisa y representativa de la calidad del agua residual y poder tomar decisiones informadas en cuanto a su tratamiento y gestión.

El siguiente boxplot (Ver **Figura 9**) grafica lo mencionado, donde se puede ver que la concentración en el afluente posee un gran rango de variabilidad debido a los puntos extremos especialmente en el caso de concentraciones excesivamente altas, impropias de un agua residual de carácter mayoritariamente doméstico.

Figura 9

Boxplot de la serie histórica de muestreos de sólidos totales ST.



3.1.8.1.1. Sólidos suspendidos totales (SST)

Para el caso de los sólidos suspendidos totales, contamos nuevamente con valores atípicos por su excesiva concentración, resultados que se reflejan por errores de muestreo que se explicó en el apartado anterior. Obteniendo una mediana en el afluente de 1390mg/L, y de 14mg/L en el efluente.

La concentración de este parámetro a la salida de la PTAR se encuentra muy por debajo del límite permisible (100 mg/L). La eficiencia de remoción media es cercana al 98%; esto podría generar una falsa sensación de un correcto funcionamiento del tren de tratamiento, sin embargo, estos porcentajes de eficiencia se deberían a la alta dilución de las aguas residuales al entrar a la planta.

Figura 10

Análisis histórico de los sólidos suspendidos totales SST

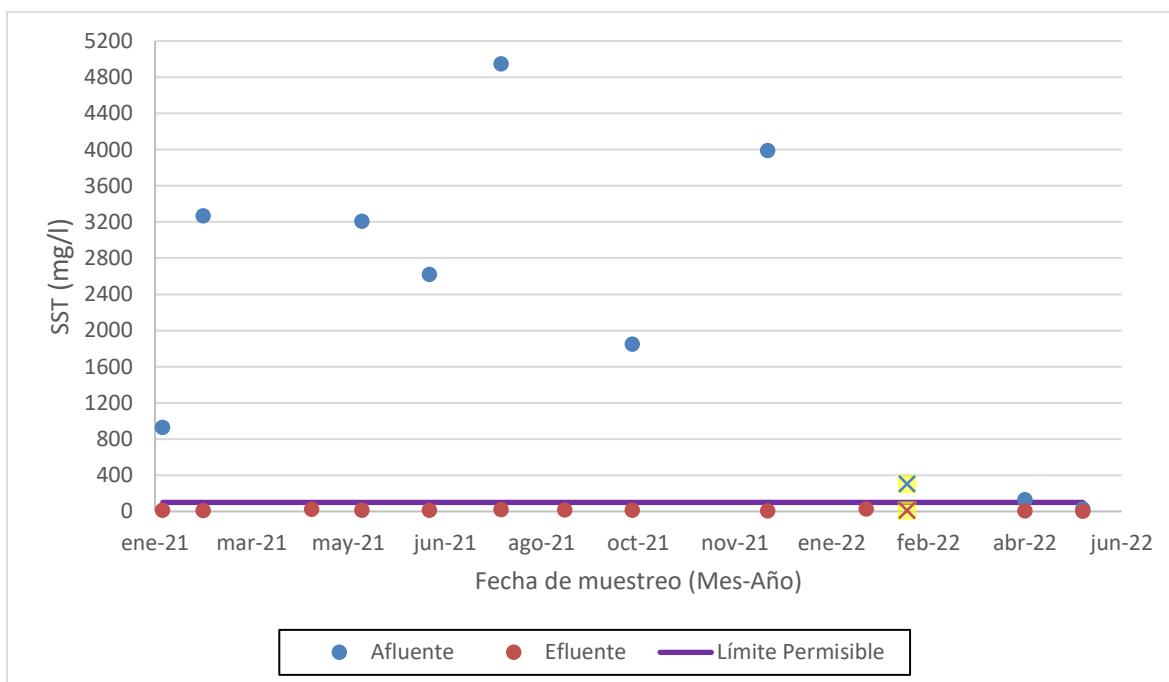


Tabla 13

Serie histórica de muestreos de sólidos suspendidos totales SST.

Fecha de muestreo (Mes-Año)	Solidos Afluentes (mg/L)	Solidos Suspendidos Efluente (mg/L)
Jan-21	930	15
Feb-21	3270	10
Apr-21	6220	25
May-21	3210	16
Jun-21	2620	13
Jul-21	4950	22
Aug-21	18840	18
Sep-21	1850	16
Dec-21	3990	7
Jan-22	6480	30
Feb-22	304	10
Apr-22	132	6
May-22	30	4

3.1.9. Características químicas

3.1.9.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

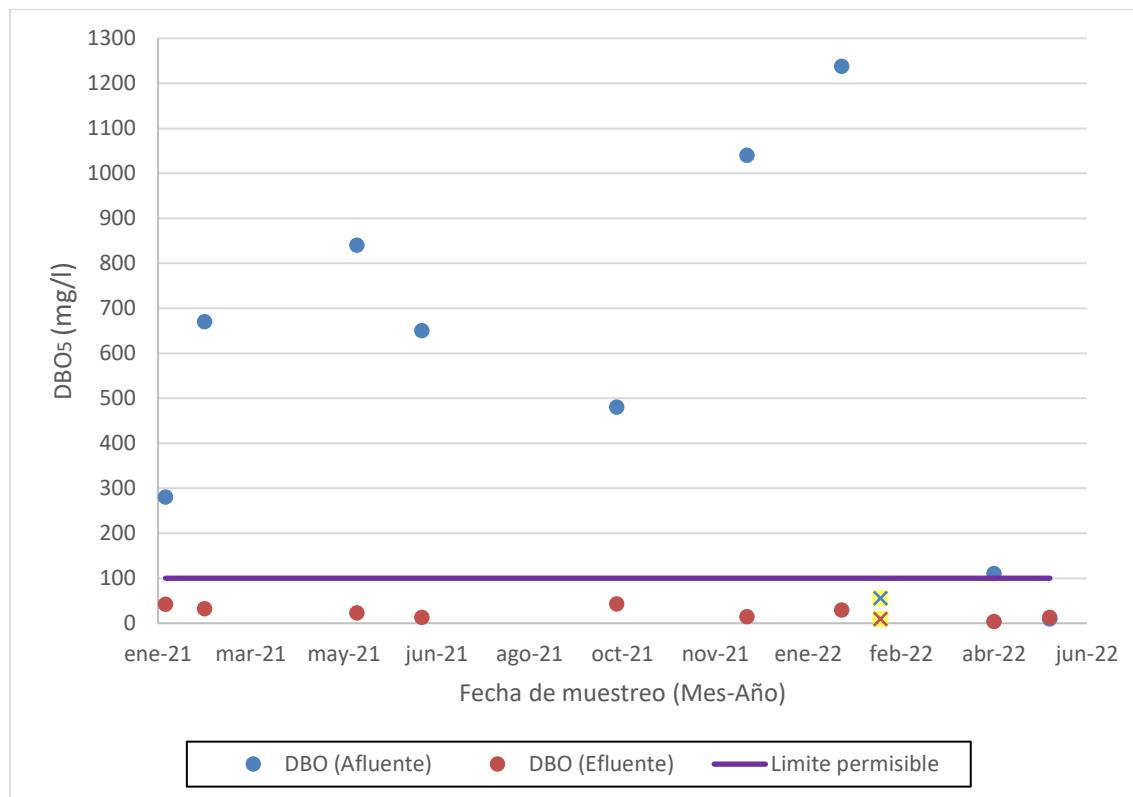
Los datos históricos a cerca de la DBO₅ nos enseñan muestran diluidas, obteniendo una mediana de 660 mg/L en la entrada de la PTAR, teniendo como excepciones los muestreos de mayo de 2021, diciembre de 2021 y enero de 2022 con concentraciones por sobre la mediana. Las fechas de estos muestreos coinciden con la época de verano o época seca del sector El Chorro, teniendo un agua residual con mayor concentración de materia orgánica.

A la salida de la planta se obtienen valores de DBO₅ inferiores al límite permisible por la norma de 100mg/L para todos los casos. Se presume que, gran parte de la remoción se está realizando en el tanque séptico, ya que el filtro anaerobio presenta problemas permanentes de colmatación y obstrucción.

Es importante hacer hincapié que la muestra compuesta realizada en febrero de 2022, tanto el afluente como efluente se encuentran en valores realmente bajos con concentraciones de 55mg/L y 9 mg/L respectivamente, debido a la gran dilución de la muestra. Lo cual puede dificultar el desarrollo de un proceso biológico eficiente dentro del sistema.

Figura 11

Análisis histórico de la demanda bioquímica de oxígeno DBO_5

**Tabla 14**

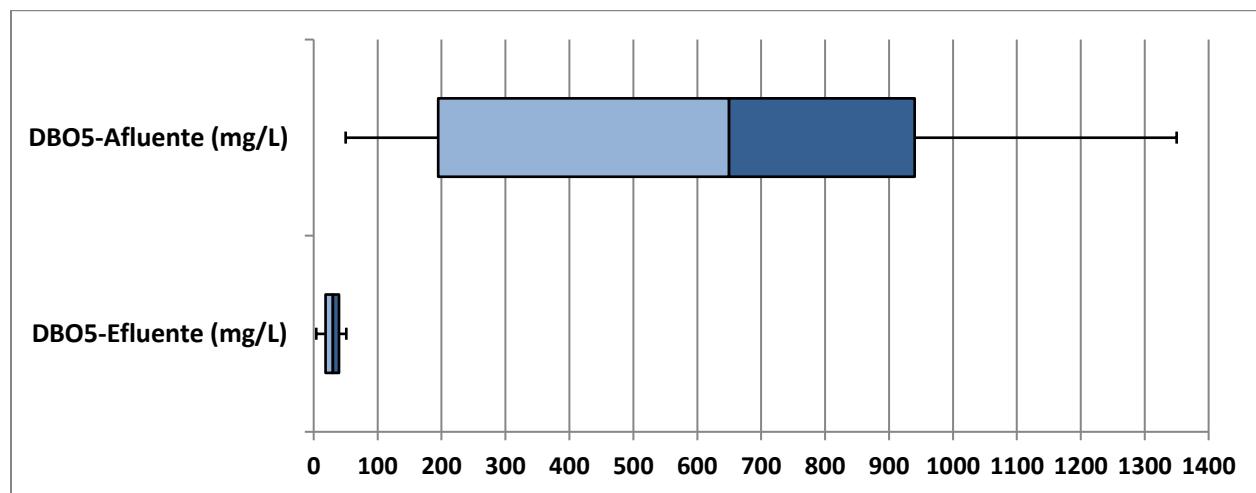
Serie histórica de muestreos de demanda bioquímica de oxígeno DBO_5 .

Fecha de muestreo (Mes-Año)	DBO ₅ Afluente (mg/L)	DBO ₅ Efluente (mg/L)
Jan-21	280	42
Feb-21	670	32
Apr-21	5200	51
May-21	840	23
Jun-21	650	13
Jul-21	3550	45
Aug-21	3220	30
Sep-21	480	43
Dec-21	1040	14

Fecha de muestreo (Mes-Año)	DBO ₅ Afluente (mg/L)	DBO ₅ Efluente (mg/L)
Jan-22	1238	29
Feb-22	55	9
Apr-22	110	4
May-22	9	13

Figura 12

Boxplot de la serie histórica de muestreos de la demanda bioquímica de oxígeno DBO₅.



3.1.9.2. Demanda química de oxígeno (DQO)

Los resultados de la serie histórica de ETAPA, presentan concentraciones de DQO que superan fácilmente los 1000mg/L, valores típicos de afluentes industriales, mas no de aguas residuales domésticas como es el presente caso de estudio. Mencionados datos deben ser descartados directamente pues carecen de relación alguna frente a las costumbres y usos del agua que presenta la comunidad de El Chorro. Resultados de ese tipo únicamente se pueden justificar por un desconocimiento total por parte de los funcionarios encargados en recoger las muestras.

Lo mencionado anteriormente se reafirman al observar que, a la salida de la PTAR, todos los valores cumplen con la normativa de 200mg/L, obteniendo eficiencias de remoción demasiado altas para ser un tren de tratamiento de carácter puramente biológico.

Por otro lado, los resultados obtenidos a través de la muestra compuesta se asemejan más a la realidad del tipo de aguas residuales a la que nos enfrentamos con una concentración en la entrada de 366mg/L, y de 66 mg/L a la salida.

Figura 13

Análisis histórico de la demanda química de oxígeno DQO.

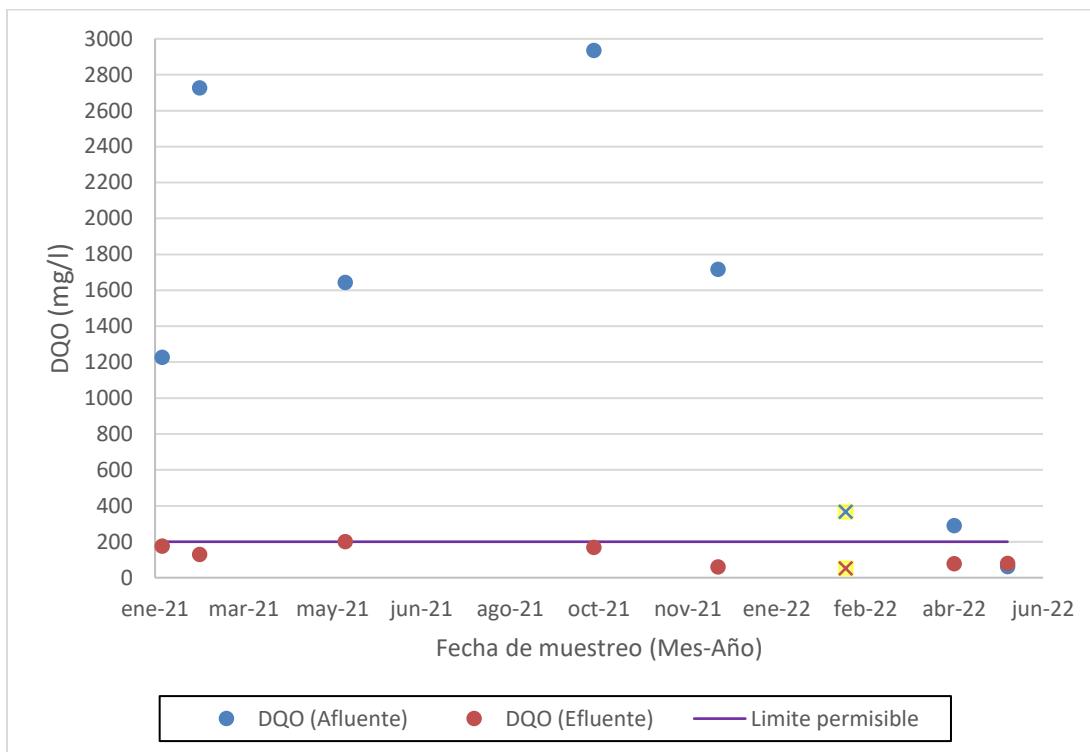


Tabla 15

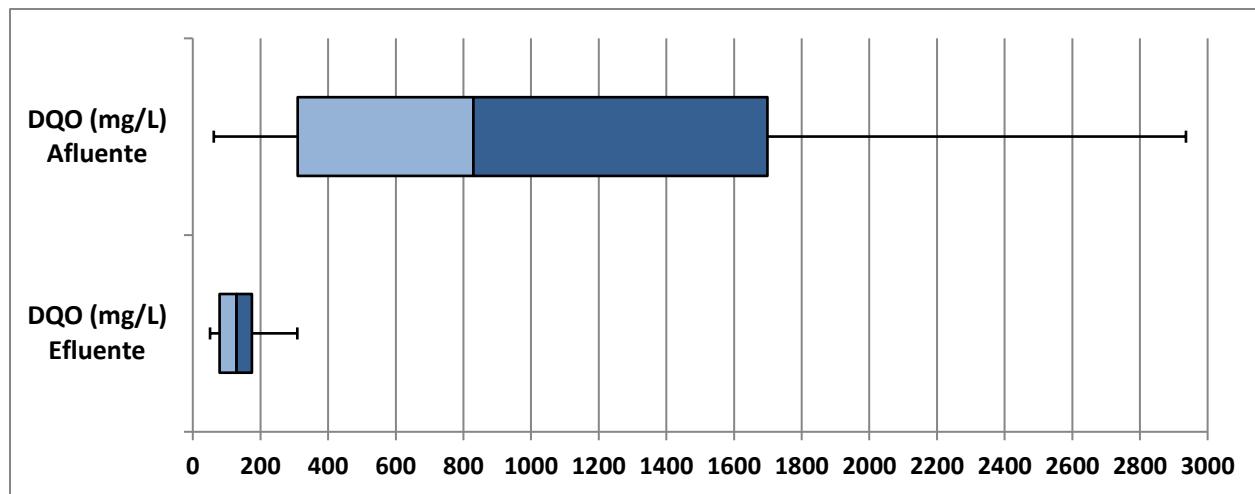
Serie histórica de muestreos de la demanda química de oxígeno DQO.

Fecha de muestreo (Mes-Año)	DQO Afluente (mg/L)	DQO Efluente (mg/L)
Jan-21	1228	176
Feb-21	2728	130
Apr-21	10978	202
May-21	1645	202
Jun-21	4980	164
Jul-21	5646	161

Fecha de muestreo (Mes-Año)	DQO Afluente (mg/L)	DQO Efluente (mg/L)
Aug-21	9128	120
Sep-21	2936	170
Dec-21	1717	60
Jan-22	12319	113
Feb-22	366	51
Apr-22	291	79
May-22	62	80

Figura 14

Boxplot de la serie histórica de muestreos de la demanda química de oxígeno DQO.



3.1.9.3. Relación DQO/DBO₅

Con el afán de profundizar en el análisis, en la **Figura 15**, se muestra la relación DQO/DBO₅; este valor puede ser un indicativo de la fracción biodegradable en el agua residual cruda (afluentes). Su relación para aguas residuales domesticas arroja valores típicos entre 1.7 y 2.4. Así mismo, autores como Von Sperling definen un grado de biodegradabilidad del agua residual de acuerdo a esta relación DQO/DBO; donde para relaciones menores a 2.5 indican alta fracción biodegradable, valores entre 2.5-3.5 la fracción inerte es moderada, y para valores mayores a 3.5 la fracción inerte es alta y por tanto procesos biológicos son poco efectivos.

Las relaciones encontradas entre DQO y DBO₅, muestran gran variabilidad de acuerdo a las fechas de los muestreos, destacando valores altos para este tipo agua residual. Dichos valores

tienen correlación con las concentraciones excesivamente altas de DQO, lo cual corrobora la idea de que los resultados carecen de fiabilidad, pues en el sector de El Chorro existe nula presencia de industrias que puedan justificar estos valores.

Figura 15

Análisis histórico de la relación DQO/DBO₅.

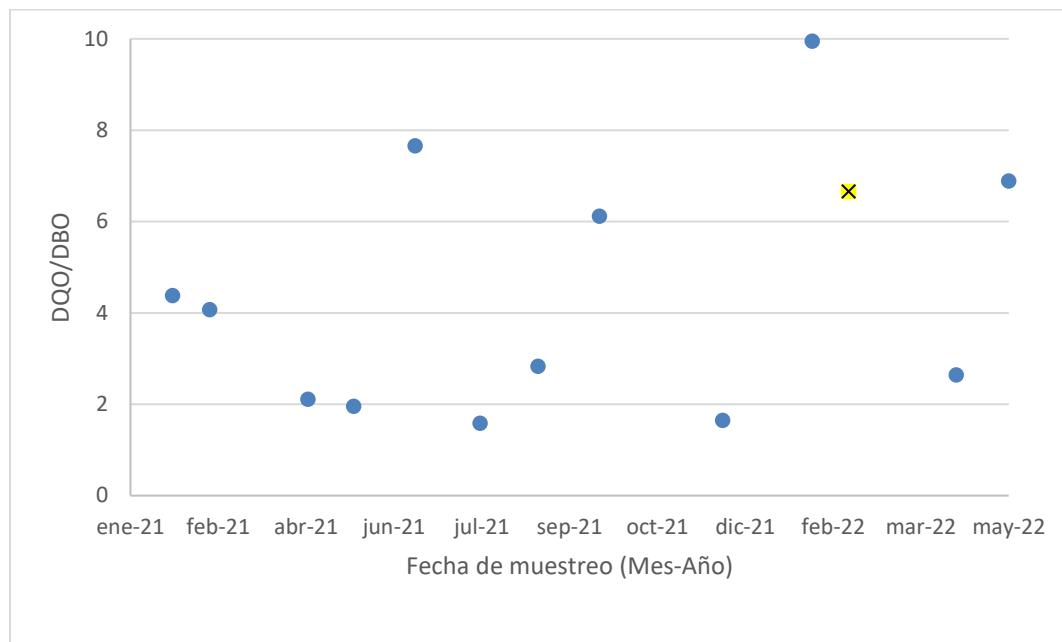


Tabla 16

Serie histórica de muestreos de relación DQO/DBO₅.

Fecha de muestreo (Mes-Año)	DQO/DBO ₅ Afluente (mg/L)
Jan-21	4
Feb-21	4
Apr-21	2
May-21	2
Jun-21	8
Jul-21	2
Aug-21	3
Sep-21	6

Fecha de muestreo (Mes-Año)	DQO/DBO ₅ Afluente (mg/L)
Dec-21	2
Jan-22	10
Feb-22	7
Apr-22	3
May-22	7

3.1.9.4. Fósforo total

La concentración de fósforo total en el efluente es 4.16 mg/L, en base a la mediana de las caracterizaciones históricas. Mientras que, el valor del afluente es de 9.24 mg/L.

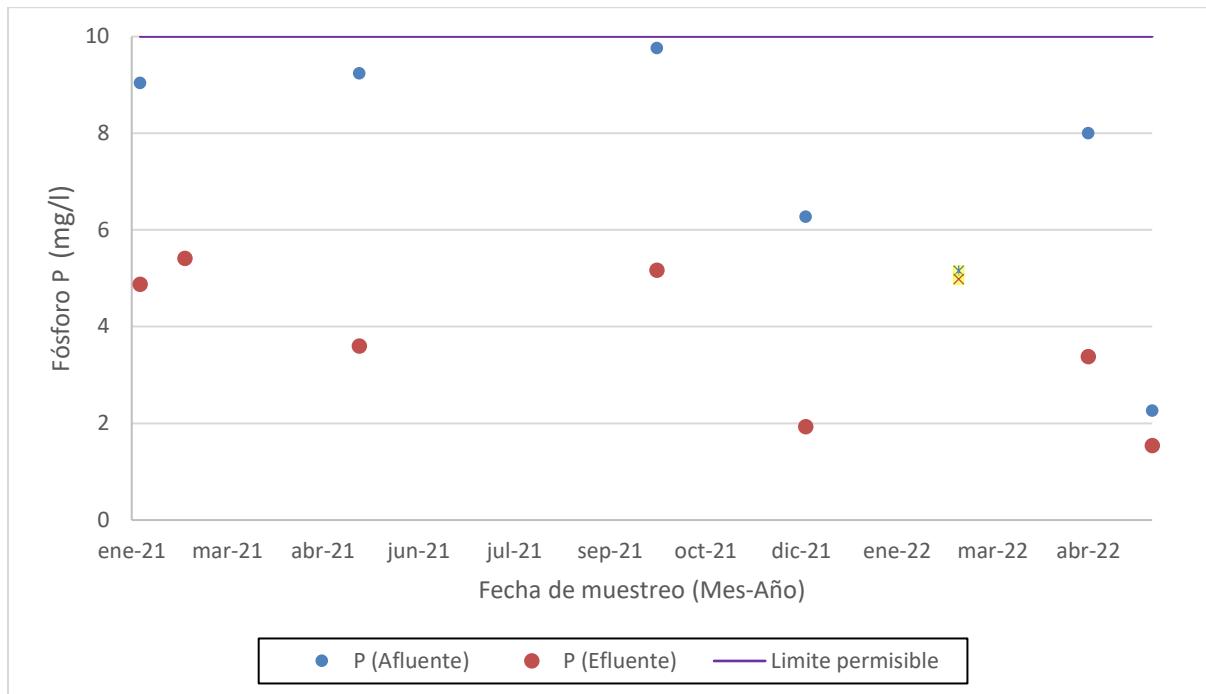
El límite máximo establecido por la normativa es 10mg/L, por lo que el efluente cumple ampliamente con la normativa. En la

Figura 16, se revela que todos los valores de salida se encuentran bajo el límite, incluso todos son menores a 6mg/L. Esto indica que el nutriente fósforo no representa amenaza alguna para el crecimiento y reproducción indiscriminada de microorganismos que participan en la estabilización de la materia orgánica.

En cuanto a la caracterización de muestra compuesta realizada para este estudio, la concentración de fósforo a la entrada de la planta es de apenas 5.15 mg/L, lo que muestra el hecho de que el caudal de aguas negras se encontraba diluido en aguas de infiltración, por lo que representa un valor atípico de fósforo.

Figura 16

Análisis histórico del fósforo total P

**Tabla 17**

Serie histórica de muestreos de fósforo P.

Fecha de muestreo (Mes-Año)	Fósforo Afluente (mg/L)	Fósforo Efluente (mg/L)
Jan-21	9.04	4.88
Feb-21	27.44	5.41
Apr-21	9.58	4.16
May-21	9.24	3.6
Jun-21	10.78	4.65
Jul-21	2.10	0.5
Aug-21	21.33	4.88
Sep-21	9.76	5.17
Dec-21	6.27	1.93
Jan-22	20.66	4.1
Feb-22	5.15	4.98
Apr-22	8.00	3.38
May-22	2.26	1.54

3.1.9.5. Nitrógeno Kjeldahl

Definido como la suma de Nitrógeno Amoniacal y Nitrógeno Orgánico. El nitrógeno es un compuesto esencial para el crecimiento de algas y microorganismos, pudiendo desencadenar fenómenos de eutrofización en los cuerpos receptores, si no existen descargas controladas del mismo.

En base a los datos históricos, encontramos una mediana de concentración en el afluente de 128.69 mg/L, un valor bastante alto pero justificado por la presencia de ganadería en la zona. Por otro lado, a la salida de la planta se cuenta con una concentración de 49.69 mg/L, muy cercana al límite máximo establecido por la normativa ecuatoriana de 50 mg/L.

Para la muestra compuesta realizada en febrero del 2022, la concentración Nitrógeno Kjeldahl en el efluente es mayor que a la entrada; presumiblemente esto se debe a que el agua caracterizada a la salida de la planta no corresponde a la misma agua caracterizada a la entrada ya que se desconoce el tiempo retención exacto.

Figura 17

Análisis histórico de nitrógeno total kjeldahl. NTK

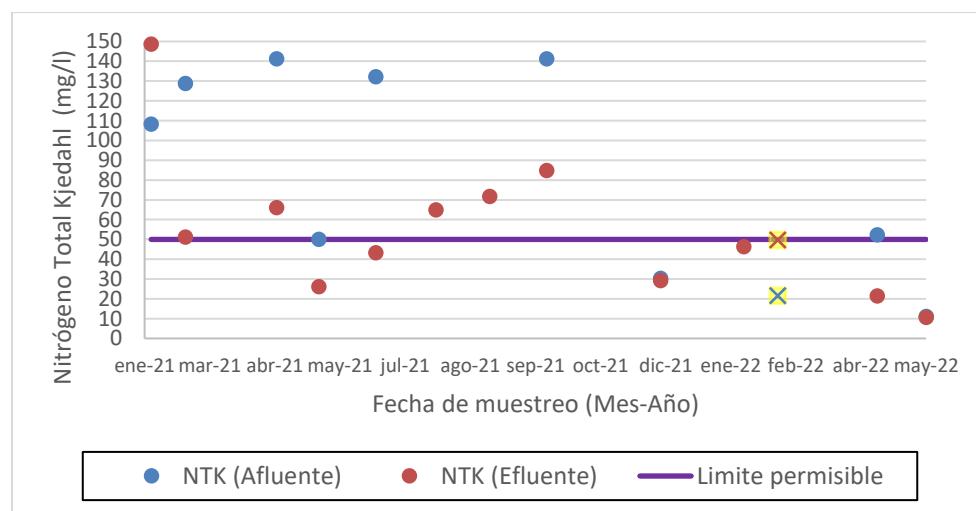


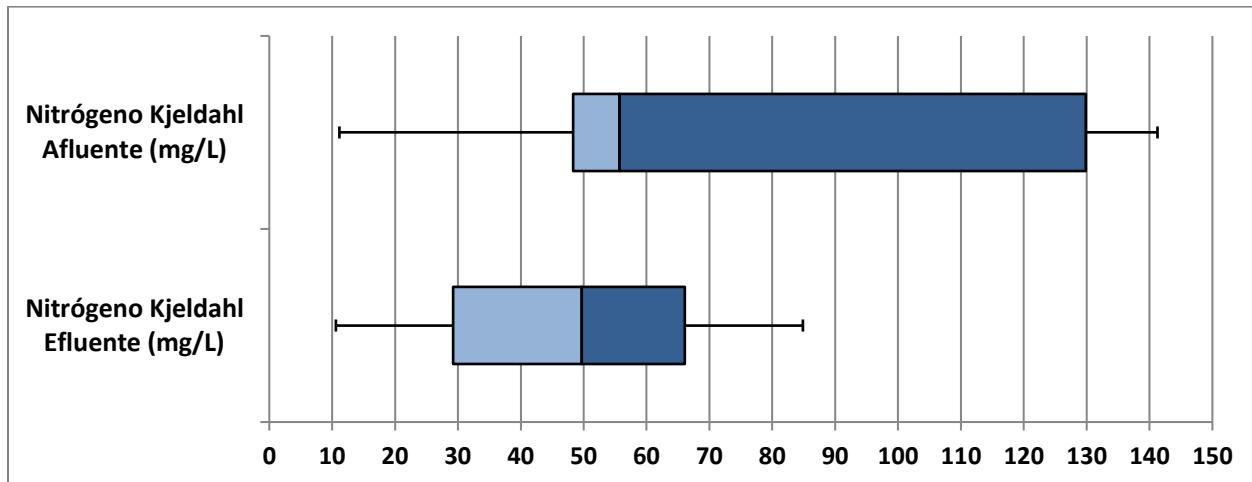
Tabla 18

Serie histórica de muestreos de nitrógeno kjeldahl NTK..

Fecha de muestreo (Mes-Año)	NTK Afluente (mg/L)	NTK Efluente (mg/L)
Jan-21	108.18	148.69
Feb-21	128.69	51.25
Apr-21	141.24	66.06
May-21	50.12	26.2
Jun-21	132.13	43.28
Jul-21	320.07	64.93
Aug-21	812.14	71.76
Sep-21	141.27	84.87
Dec-21	30.36	29.24
Jan-22	216.82	46.3
Feb-22	21.46	49.69
Apr-22	52.39	21.45
May-22	11.15	10.59

Figura 18

Boxplot de la serie histórica de muestreos de nitrógeno Kjeldahl NTK.



3.1.9.6. Potencial de Hidrógeno pH

El Potencial de Hidrógeno es un parámetro esencial de calidad de las aguas naturales y residuales, pues la vida se desarrolla en un rango relativamente estrecho de pH. Así también, existen procesos químicos donde intervienen contaminantes de las aguas residuales domésticas

que solamente pueden tener lugar a determinando pH. La normativa ecuatoriana limita el rango del pH entre un valor mínimo de 6 y un valor máximo de 9.

Los resultados de laboratorio evidencian un rango de pH del agua residual dentro de lo permitido, presentando así condiciones favorables para su tratabilidad biológica. Se puede notar también que, en el efluente se observa una ligera desacidificación del mismo. Finalmente, la mediana de la serie histórica presenta valores de 7 en el afluente y 7.37 en el efluente, indicando valores muy cercanos a la neutralidad con una ligera tendencia a la alcalinidad, normal en las aguas residuales.

Figura 19

Análisis histórico de Potencial de Hidrógeno pH.

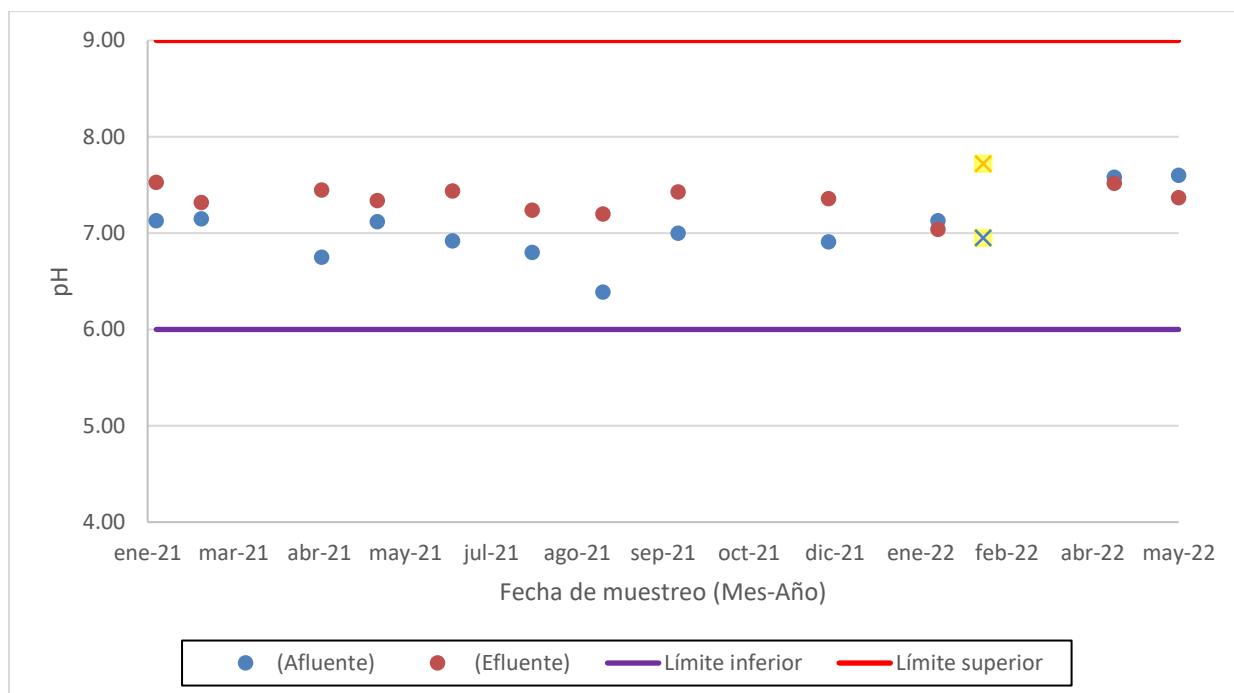


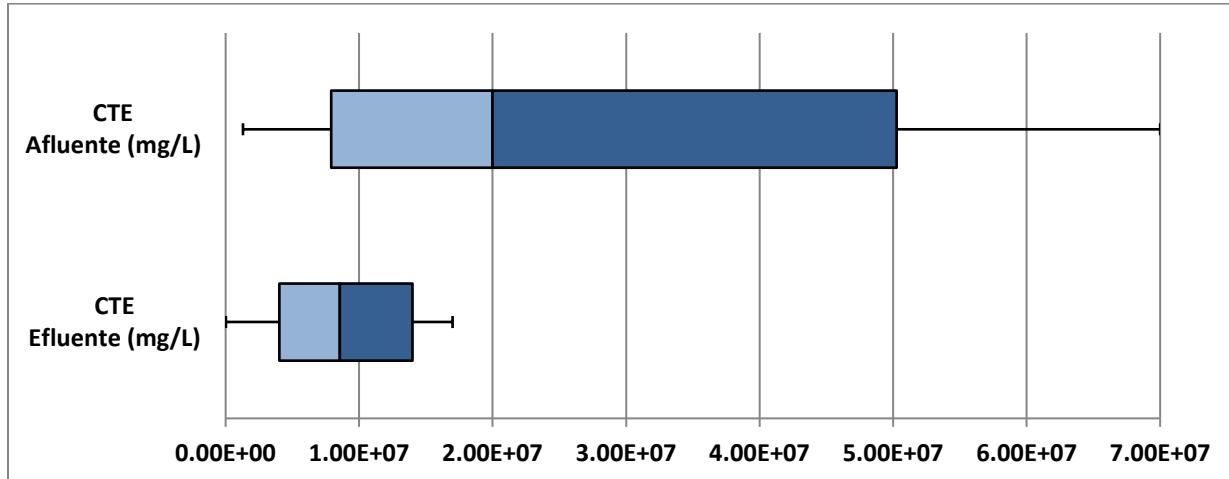
Tabla 19

Serie histórica de muestreros de Potencial de Hidrógeno pH..

Fecha de muestreo (Mes-Año)	pH Afluente	pH Efluente
Jan-21	7.13	7.53
Feb-21	7.15	7.32
Apr-21	6.75	7.45
May-21	7.12	7.34
Jun-21	6.92	7.44
Jul-21	6.80	7.24
Aug-21	6.39	7.2
Sep-21	7.00	7.43
Dec-21	6.91	7.36
Jan-22	7.13	7.04
Feb-22	6.95	7.72
Apr-22	7.58	7.52
May-22	7.60	7.37

Figura 20

Boxplot de la serie histórica de muestreos de coliformes termotolerantes CTE.



3.1.10. Características microbiológicas

3.1.10.1. Coliformes Termotolerantes (CTE)

La presencia de organismos patógenos es un aspecto de suma importancia en la calidad de agua, ya que resulta ser un limitante para un futuro uso del agua residual por la amenaza de transmitir enfermedades.

Para el agua residual de estudio se evidencia una mínima remoción de organismos patógenos con una mediana del 53.5% de eficiencia. Valores lógicos al no existir ningún tipo de desinfección en el tren de tratamiento de la planta. Además, vale mencionar que, los valores de CTE en el efluente se encuentran lejos de cumplir la normativa vigente de 2000NMP/ml, por lo cual, la planta exige un rediseño que abarque la construcción de una tecnología de tratamiento terciario.

Figura 21

Análisis histórico de coliformes termotolerantes CTE.

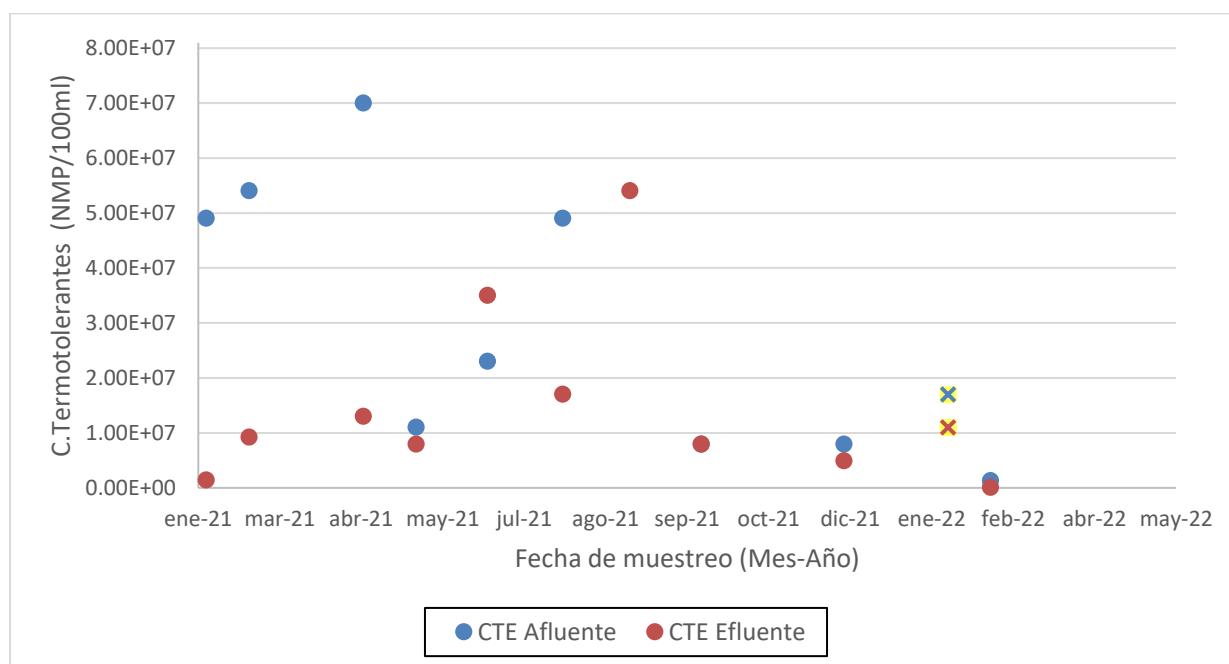


Tabla 20

Serie histórica de muestreos de coliformes termotolerantes CTE.

Fecha de muestreo (Mes-Año)	CTE Afluente (mg/L)	CTE Efluente (mg/L)
Jan-21	4.90E+07	1.40E+06
Feb-21	5.40E+07	9.20E+06
Apr-21	7.00E+07	1.30E+07
May-21	1.10E+07	7.90E+06
Jun-21	2.30E+07	3.50E+07
Jul-21	4.90E+07	1.70E+07
Aug-21	3.50E+08	5.40E+07
Sep-21	7.90E+06	7.90E+06
Dec-21	7.90E+06	4.90E+06
Jan-22	1.70E+07	1.10E+07
Feb-22	1.30E+06	7.80E+04
Apr-22	1.10E+07	0.00E+00
May-22	1.70E+06	2.00E+04

3.2. Configuración y funcionamiento actual de la PTAR El Chorro

La planta se encuentra construida sobre un área aproximada de 118 m². El ingreso del agua residual a la PTAR se realiza a través de una tubería de 160mm, la cual recoge el afluente del sistema de alcantarillado separado hacia una cámara de válvulas compuesta por dos tuberías. Una de las tuberías transporta el flujo hacia la siguiente unidad en el sistema (tanque séptico), mientras la otra tubería, empalmada a través de una tee de PVC redirige el flujo hacia una cámara de derivación que descarga directamente en el cuerpo de agua receptor. La siguiente unidad comprende una fosa séptica (tratamiento primario) bicameral, con dos tapas de revisión a la entrada y salida de la misma, seguido de un filtro anaerobio circular de flujo ascendente (tratamiento secundario). Finalmente, el efluente es descargado hacia una cámara de salida, y esta a su vez a la quebrada que compone el Río Quingeo. En la **Figura 22**, se muestra un diagrama de flujo los procesos que se llevan a cabo dentro de la PTAR El Chorro.

Figura 22

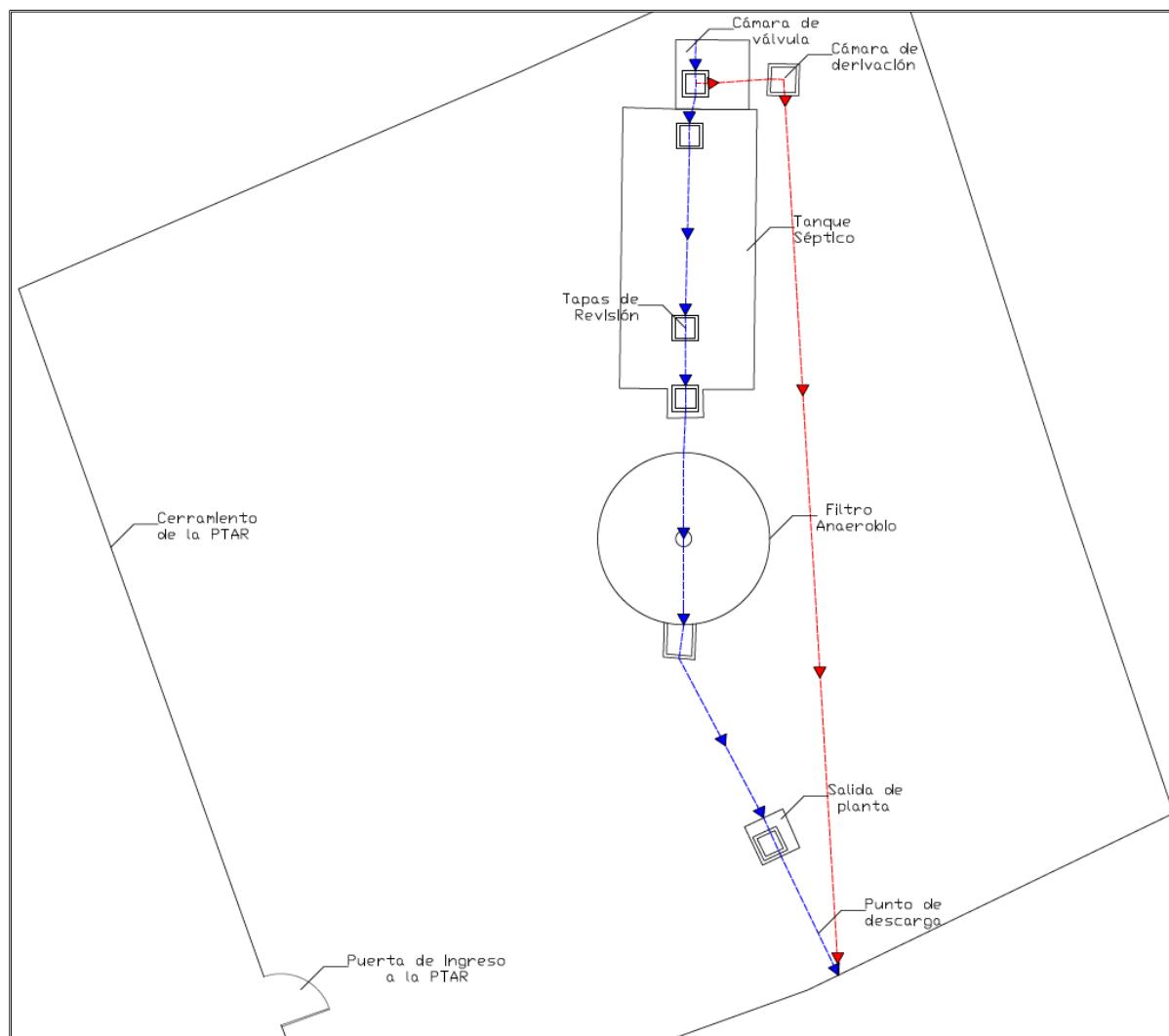
Diagrama de flujo de los procesos de tratamiento. PTAR El Chorro



La **Figura 23**, presentada a continuación, fue elaborado a partir del levantamiento topográfico realizado, muestra a modo esquemático la distribución de los diferentes procesos emplazados en el terreno.

Figura 23

Boceto a partir del levantamiento topográfico de la PTAR El Chorro



3.2.1. Tratamiento preliminar

En la PTAR El Chorro no existe ningún tratamiento preliminar, este es un mal de la mayoría de plantas descentralizadas que maneja ETAPA EP, ya que existe una infravaloración acerca de este proceso dentro del sistema de tratamiento. Su ausencia en el tren de tratamiento implica la colmatación de las unidades siguientes de operación como es el tanque séptico y el filtro anaerobio, ya que la entrada de material grueso durante eventos intensos de lluvia provoca el deterioro de las unidades de tratamiento, y por tanto, un funcionamiento inadecuado de la planta.

3.2.2. Tratamiento primario

El tratamiento primario está constituido de un tanque séptico rectangular de hormigón armado de 8.60x4.20m con una profundidad de 2.55m. El tanque está dividido por dos cámaras repartidas a los 2/3 y 1/3 de la misma, como se observa en la **Figura 24**. La fosa cuenta con dos tapas de revisión tanto a la entrada como a la salida, así mismo posee tuberías conectada a un codo de 90° para el ingreso y una tubería tee para la salida del flujo. Sobre la losa de cubierta del tanque se encuentran instaladas dos ductos de aireación cerca de las tapas de revisión.

En cuanto al estado estructural de la unidad de tratamiento se encuentra en buenas condiciones, no presentando fisuras o daños en las paredes del tanque. En los últimos años se ha colocado pintura epóxica sobre la parte vista del tanque para generar un recubrimiento impermeable. De igual manera, las tapas de inspección se encuentran pintadas con pintura anticorrosiva para su mantenimiento.

Se realizó un levantamiento en campo de la unidad de tratamiento y sus accesorios y se corroboró las dimensiones proporcionadas por ETAPA. En la **Figura 24** y **Figura 25** se presenta una vista en planta y en perfil del tanque séptico.

Figura 24

Vista en planta del tanque séptico

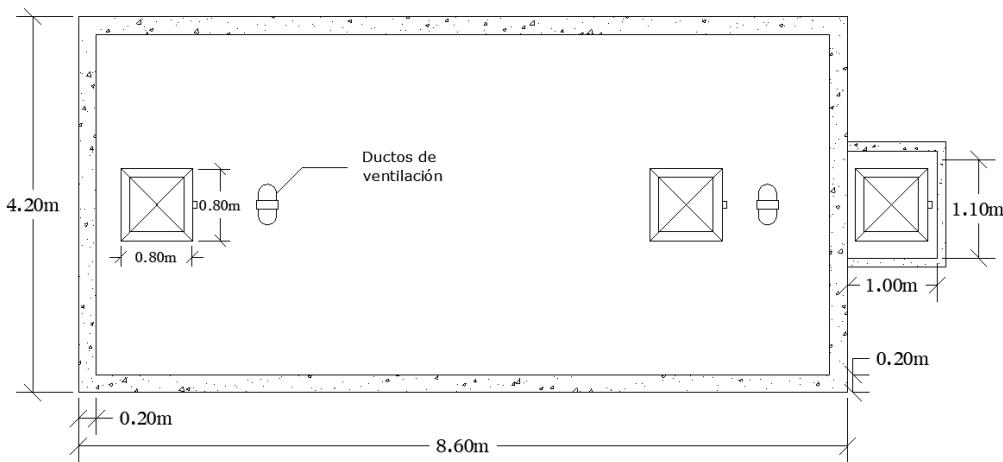
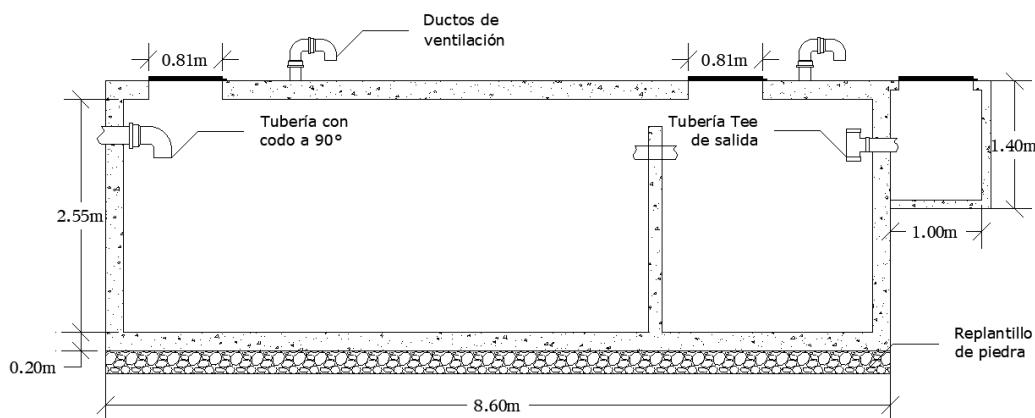


Figura 25

Vista en perfil del tanque séptico



3.2.3. Tratamiento secundario

En lo que se refiere al tratamiento secundario la PTAR El Chorro cuenta con un filtro anaerobio de flujo ascendente. Su estructura de hormigón armado tiene forma circular con una losa de cubierta en forma de cúpula. El diámetro del filtro es de 5.30m y cuenta con una profundidad libre de 2.50m. En la parte superior de la losa de cubierta existe una tapa de revisión, sin embargo, la tapa metálica ha sido desmontada, dejando al filtro expuesto a la intemperie. En eventos de precipitación, el filtro permite el ingreso de agua lluvia, afectando directamente el funcionamiento

del reactor; obteniendo un agua residual con alta dilución, e incluso en ocasiones las fuertes lluvias terminan rebosando la capacidad del filtro anaerobio.

La composición de la red de tuberías inferior es en forma de espina de pez (7 tuberías), a más de una tubería que rodea el filtro en forma de anillo con un diámetro de 110mm en material de PVC para todas las tuberías (Ver **Figura 26**). Mientras la red de tuberías superior se componía inicialmente de 3 tuberías de PVC de 160mm de diámetro ubicadas de manera equidistante alrededor del filtro; una de las tuberías perdió uno de sus anclajes y se encuentra colocada de manera inclinada soportado únicamente en la parte superior (Ver **Figura 27** Distribución de las tuberías de ingreso en la parte superior del filtro anaerobio).

El estado estructural del reactor se encuentra en buen estado al igual que la fosa séptica, los inconvenientes a más de los descritos anteriormente es el de una continua colmatación del reactor. Esto se da porque existieron errores en los cálculos de pérdida de carga hidráulica impidiendo que el flujo alcance las tuberías superiores, y el filtro no se encuentre totalmente sumergido para poder descargar dicho flujo, lo cual ocasiona un problema aguas atrás de la planta.

Figura 26

Distribución de las tuberías de ingreso en la parte inferior del filtro anaerobio.

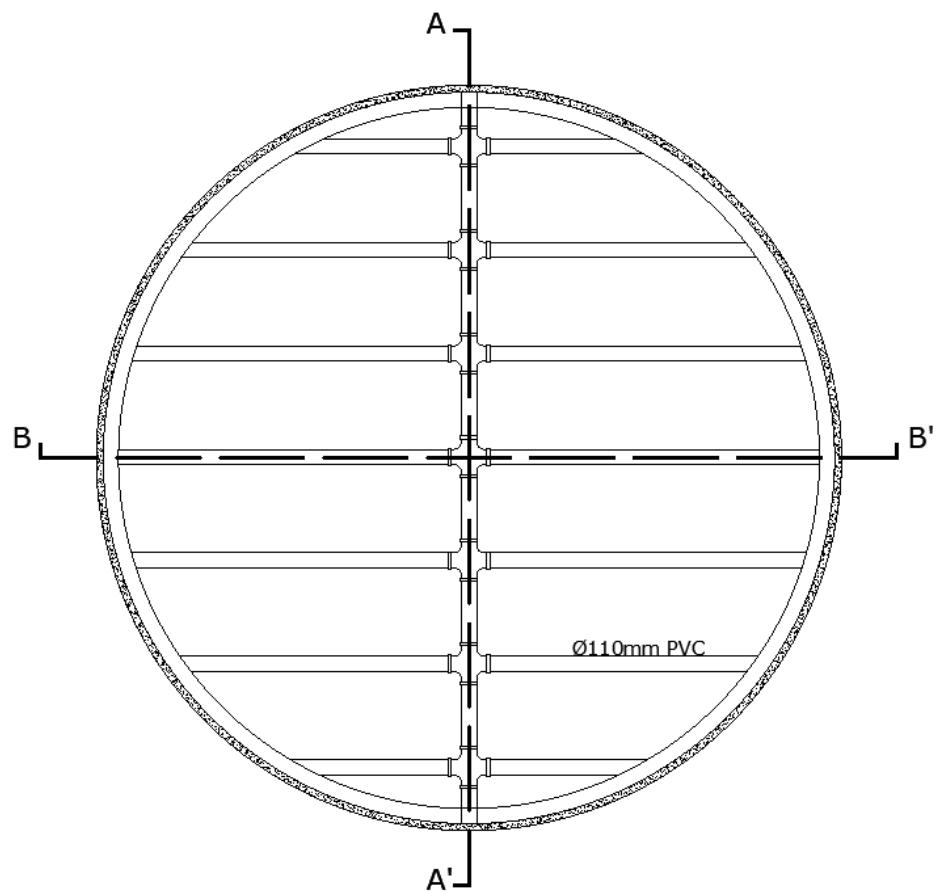


Figura 27

Distribución de las tuberías de ingreso en la parte superior del filtro anaerobio.

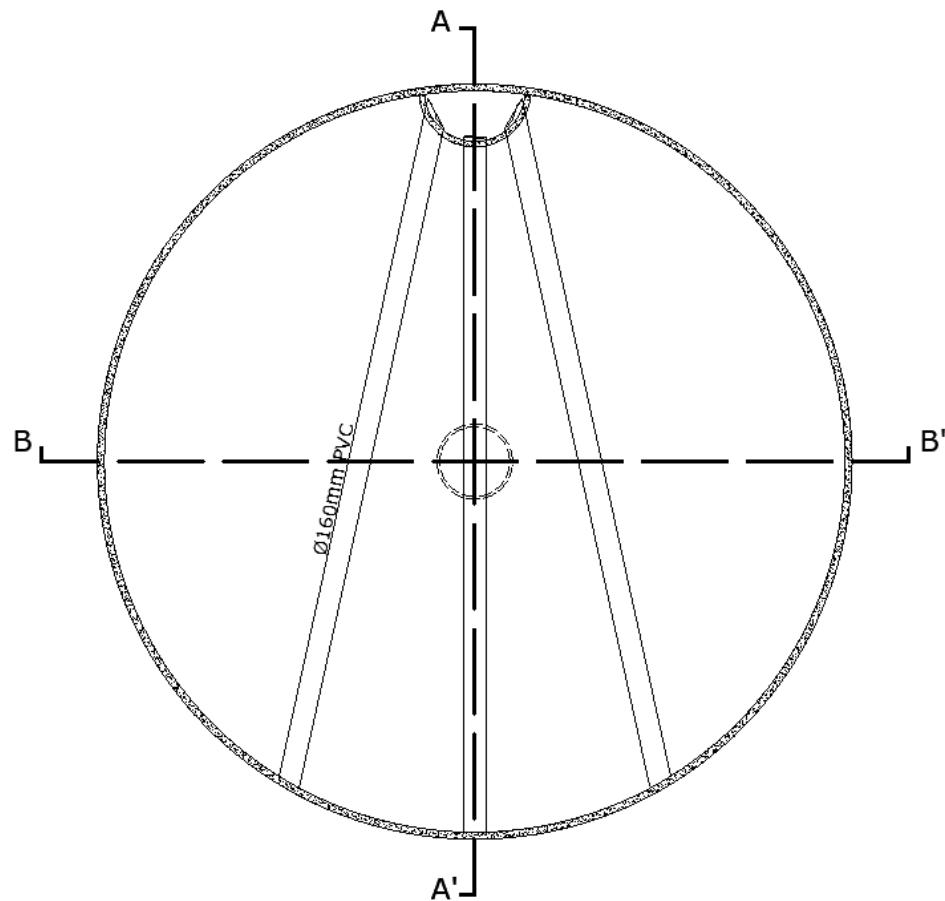


Figura 28

Corte A-A' del filtro anaerobio.

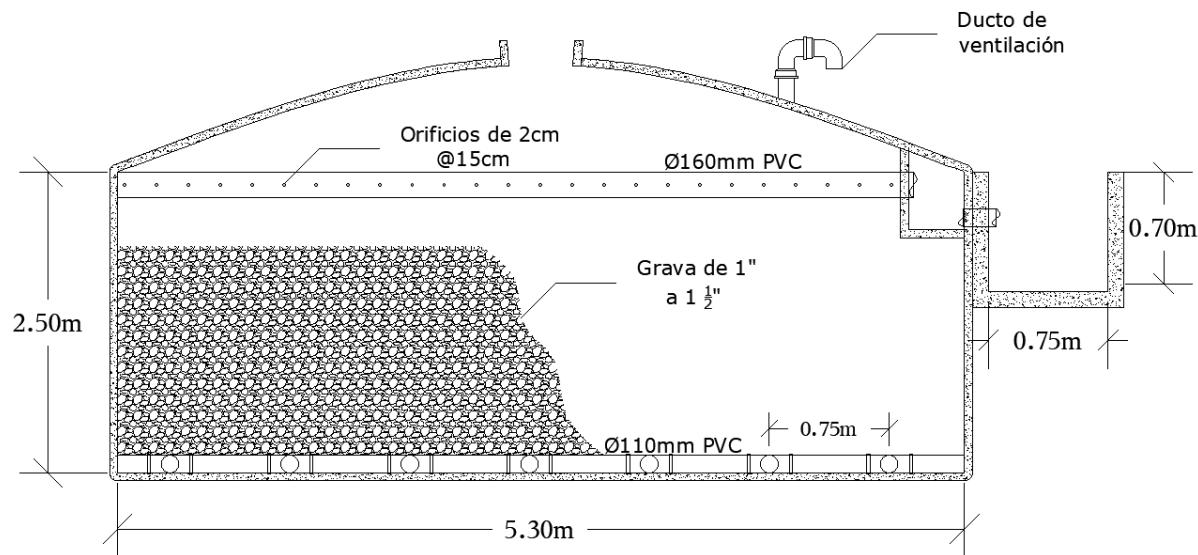
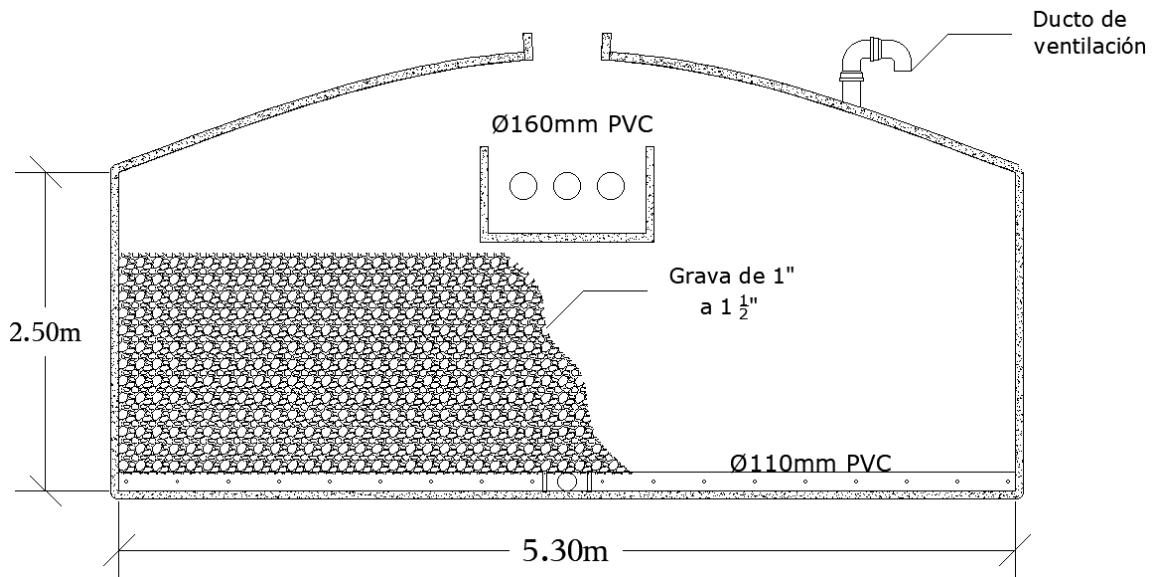


Figura 29

Corte B-B' del filtro anaerobio.



3.2.4. Tratamiento terciario

La PTAR El Chorro no tiene actualmente tratamiento terciario. Un tratamiento anaerobio como el mostrado elimina alrededor de 1 unidad logarítmica, lo cual, según la normativa ecuatoriana resulta insuficiente para un agua residual doméstica que tiene que ser descargada directamente en un cuerpo receptor superficial.

Capítulo 4 – SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA

4.1. Selección de tecnología

Una vez analizado y evaluado el sistema actual de funcionamiento (estructural, hidráulico, sanitario) de la PTAR El Chorro, a más de realizar un profundo repaso a los resultados de laboratorio de las muestras del agua residual local, se puede dar paso a la selección de tecnología. El proceso busca solucionar los problemas previamente identificados tomando en cuenta varios factores que lleven a la mejor toma de decisión.

En el presente caso de estudio, es urgente la implementación de un sistema de tratamiento preliminar por la positiva repercusión que pueda tener en las siguientes unidades de tratamiento. En lo que refiere al tratamiento primario y secundario, se busca mantener la fosa séptica y el reactor anaerobio respectivamente por su buen estado estructural, necesitando únicamente la implementación y reubicación de tuberías y accesorios. También se propondrá la construcción de una unidad de desinfección, pues, los procesos físicos y biológicos no tienen efecto sobre organismos patógenos. Finalmente, se incluye en la propuesta de rediseño la creación de un lecho de secado que permita dar un correcto tratamiento a los lodos generados por los procesos de carácter anaerobio como es el caso del tanque séptico y filtro, así como los depósitos de material en el desarenador.

Al tratarse de una tarea compleja la selección de tecnología de tratamiento de agua residual óptima, se ha decidido apoyarse en una herramienta que ayude en la toma de decisiones, maximizando la eficiencia del sistema al compararlos con otras alternativas. Dicha herramienta es un algoritmo de preselección propuesto por Noyola, Morgan-Sagastume y Güereca en 2013 en su libro llamado Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. Los autores consideran dentro de su análisis la disponibilidad de recursos económicos, área, características cualitativas y cuantitativas del agua residual a tratar y del agua tratada, impacto ambiental, social y económico del sistema en la población. Los factores a tomar en cuenta para la selección de tecnología son establecidos y desarrollados a continuación.

4.1.1. Aplicabilidad del proceso

Este factor implica el grado de conveniencia del proceso de acuerdo a las características presentadas por al agua residual local, así como la calidad exigida a la salida del sistema. Mencionado rubro involucra el intervalo de flujo en el cual el sistema es aplicable, la tolerancia a variaciones de flujo, las características del agua residual y la eficiencia de la remoción. Su

ponderación dentro de la matriz de decisiones es considerable por todos los componentes que abarca.

Los aforos realizados en febrero del 2022 muestran tasas de flujo pequeñas, cercanas a los 0.5 L/s, presentando variaciones típicas de comunidades rurales con picos en la mañana, medio día, y noche. La composición del agua residual local es de tipo orgánica con presencia considerable de nutrientes como nitrógeno. Presenta valores altos de dilución presumiblemente por infiltraciones en el sistema de alcantarillado. La eficacia de remoción del sistema debe hacer hincapié en parámetros como la demanda química de oxígeno DQO, nitrógeno, y coliformes termotolerantes, como fue repasado en la sección 3.1.7.

4.1.2. Generación de residuos

Todo sistema de tratamiento genera residuos de tipo sólido, líquido y gaseoso. Su captación, tratamiento y disposición final hace parte del sistema de la planta. Los productos generados del tanque séptico como lodo residual no reciben un tratamiento previo a su transporte al relleno sanitario, en cuanto a los residuos líquidos generados en el lavado del filtro anaerobio son descargados directamente a la quebrada, y, por último, de los residuos gaseosos no se tienen ningún registro ni cuantificación.

La implementación de un sistema que permita la estabilización de los lodos es de suma importancia para un tratamiento integral por parte de la planta. Además, se cuenta con la ventaja de que el Relleno Sanitario de Pichacay, el cual se ubica a menos de 2km de la PTAR El Chorro.

4.1.3. Aceptación por parte de la comunidad

Toda obra debe ser socializada con la comunidad a la cual se le va a dar servicio. En el presente caso se trataría de una readecuación de una obra ya existente, lo cual es una facilidad para la aceptación del proyecto. Además, gran parte de la comunidad es consciente de un correcto manejo de las aguas residuales por aspectos ambientales y de salud. Afortunadamente, la planta se encuentra localizado en una parcela que dista de la mayoría de los domicilios, lo cual no generaría inconvenientes a la hora de la construcción.

Es importante señalar que, pobladores de la comunidad El Chorro han dado a conocer sus molestias respecto a olores generados por un mal funcionamiento de la planta que fueron transmitidos en las visitas de campo.

4.1.4. Generación de subproductos con valor económico o de uso

Algunas plantas de tratamiento cuentan con tecnologías que a más de cubrir aspectos ambientales y de salud mediante la remoción de contaminantes, cuentan con la generación de subproductos a través de sus sistemas empleados. Dichos subproductos pueden representar un redito económico para la comunidad o para la empresa encargada de la planta, como es ETAPA EP en este caso.

Para la propuesta de rediseño no se realiza mayor énfasis en este aspecto, pues el presupuesto es limitado y se busca principalmente un correcto funcionamiento de la planta para velar por la salud pública y el medio ambiente, mediante la reducción de contaminantes de las aguas residuales. De esa manera, la ponderación de este rubro será nula.

4.1.5. Vida útil

La vida útil de un sistema de tratamiento involucra tanto a la infraestructura civil, así como la del equipamiento electromecánico. En la planta de estudio no se prevé la inclusión de este tipo de equipamiento por su alto costo de adquisición y mantenimiento. Se debe indicar también que, la PTAR El Chorro construida en el año 2008, fue diseñada inicialmente para un periodo de 20 años.

4.1.6. Requerimiento de área

En sistemas de tratamiento descentralizado la disponibilidad de área es limitado, sin embargo, la PTAR El Chorro ya cuenta con un área definida de 118 m², de la cual hasta el momento se ha ocupado menos del 50% de la misma. Esto quiere decir que, no existe gran inconveniente de acuerdo al recurso área, donde a través de sistemas compactos se puede cubrir con las readecuaciones que urge la configuración de la planta.

4.1.7. Costo

Sin lugar a duda, este es uno de los aspectos más importantes a tomar en cuenta dentro de la aplicabilidad de un sistema de tratamiento de aguas residuales. Este rubro involucra aspectos tanto constructivos (costo de materiales, mano de obra, dirección técnica, etc.), como de operación y mantenimiento de acuerdo al periodo de diseño planteado. (Noyola et al., 2013) sugiere incluir dentro este rubro a las siguientes variables:

- Inversión inicial: El presupuesto de ETAPA EP es limitado y carece de fondos suficientes para realizar una inversión de este tipo, por lo que se vería obligado a recurrir a instituciones financieras en las que pueda conseguir un crédito.

- Operación y mantenimiento: En muchos de los casos el monto a destinarse a esta actividad es mayor al de la inversión inicial. Su ponderación tendrá un valor representativo para tecnologías que requieran un mínimo de operación y mantenimiento, ya que la ausencia de estas actividades puede terminar en el colapso y futuro abandono de la PTAR.
- Requerimiento de reactivos: El uso de insumos que se requieran ya sea para el funcionamiento de la planta, o para mejorar su eficiencia debe ser limitado por el coste que implica su importación y posterior traslado al lugar de la planta.
- Requerimiento energético: Para este aspecto se primará la elección de tecnologías que no requieran energía eléctrica, ya que es característico que este tipo de plantas rurales no cuenten con alimentación energética de forma continua.
- Gastos administrativos y de personal: ETAPA EP se ha visto afectado en los últimos años en una reducción de personal que ha afectado directamente en los servicios que mencionada empresa ofrece. De igual modo, se recompensará a tecnologías que necesiten de menor gasto administrativo y de personal.
- Requerimiento de refacciones y material de mantenimiento: Procesos menos propensos a requerir refacciones dentro de sus equipos, o material de reparación para sus unidades de tratamiento tendrán mayor peso dentro de este rubro.

4.1.8. Diseño y construcción

La concepción, y futura ejecución y manejo de un proyecto de estas características es operada y dirigida en su totalidad por parte de la empresa municipal ETAPA EP. La misma cuenta con la experiencia necesaria para llevar a cabo el diseño, construcción, fiscalización, operación y mantenimiento de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Su equipo técnico tiene definido los criterios de diseño que involucran un proyecto de saneamiento de esta naturaleza, así como, las diferentes metodologías constructivas a aplicar. Como ya se mencionó en ocasiones anteriores, la propuesta de rediseño parte como base de las unidades de tratamiento primario y secundario ya existentes. De esa manera, se busca facilitar cualquier proceso de diseño y construcción que deba ejecutarse a la planta, a más de poner énfasis en tecnologías manejadas y probadas en el medio.

4.1.9. Operación

Este rubro comprende toda tarea que deba desarrollarse por parte de equipo mecánico y humano para el funcionamiento normal del sistema de tratamiento. Al tratarse de una planta descentralizada se busca contar con tecnologías simples que no requieran de personal especializado, así como de la menor cantidad de trabajadores.

La flexibilidad y confiabilidad de operación son aspecto a tomar en cuenta, pues un sistema que se pueda adaptar a uno ya existente, así como permitir futuras ampliaciones dentro un manejo seguro e igualmente eficiente resulta ser un sistema que goza de gran aplicabilidad.

4.1.10. Entorno e impacto ambiental

Por último, la matriz de selección de tecnología incluye a la influencia que tiene el ambiente sobre la planta y viceversa. Aspectos como la temperatura, generación de ruido y malos olores, y la contaminación visual que pueda producir la PTAR, son involucrados dentro de esta variable.

Una temperatura promedio de 17°C genera ambiente propicio para el desarrollo de tecnologías anaerobias. La planta está ubicada en un lugar que no tiene mucho acceso visual, por lo que no genera inconvenientes en cuanto a términos estéticos se refiere, a más de tener arboles a su alrededor. La generación de ruido tampoco es un impedimento puesto que las alternativas de tecnología planteadas, carecen de equipos electromecánicos. La producción de malos olores es un aspecto importante a tener en cuenta, pues ha sido un asunto cuestionado dentro de los usuarios.

4.2. Aplicación de la matriz de evaluación y selección de tecnología

En la Tabla 21, se enlista cada uno de los rubros analizados anteriormente, junto con la ponderación asignada a cada uno de ellos, de acuerdo a la importancia determinada.

Tabla 21

Asignación de valores de ponderación para la matriz de decisión

Ítem	Factor evaluado	Ponderación
1	Aplicabilidad del proceso	25
2	Generación de residuos	7
3	Aceptación por parte de la comunidad	-
4	Generación de subproductos con valor económico o de uso	3
5	Vida útil	5
6	Requerimiento de área	-

Ítem	Factor evaluado	Ponderación
7	Costo	40
8	Diseño y construcción	5
9	Operación	10
10	Entorno	5

Para cada una de las fases del tren de tratamiento, es decir, para tratamiento preliminar, primario, secundario, terciario, y de lodos; se ha planteado 4 alternativas de tecnología. Las tecnologías escogidas se encuentran en la literatura existente, dando énfasis a tecnologías que se puedan implementar en el ámbito rural.

4.3. Alternativas tecnológicas disponibles

Tabla 22

Alternativas tecnológicas para cada fase del tren de tratamiento.

Nro. Alternativa	Tratamiento preliminar	Tratamiento primario	Tratamiento secundario	Tratamiento terciario	Tratamiento de lodos
1	Cribado por rejas	Sedimentación primaria	Humedales Artificiales	Filtración por membranas	Secado térmico (Horno solar)
2	Trituración	Flotación	Multi Soil Layer System	Ósmosis inversa	Digestión anaerobia
3	Desarenador	Filtración	Lodos activados	Desinfección (Cloración)	Digestión aerobia
4	Desengrasado	Oxidación química	Filtro anaerobio de flujo ascendente	Adsorción con carbón activado	Deshidratació n (Lecho de secado)

4.4. Aplicación de la matriz de evaluación y selección de tecnología

La aplicación de la matriz de decisión para cada una de las fases de tratamiento se presenta a continuación.

Tabla 23

Matriz de decisión para el tratamiento preliminar

#	A %	B Rubros evaluados	Cribado por rejas			Trituración			Desarenador			Desengrasado		
			C Calificación	D C/5	E D*A									
1	25.0	Aplicabilidad del proceso	5.0	1.0	25.0	3.0	0.6	15.0	5.0	1.0	25.0	5.0	1.0	25.0
2	7.0	Generación de residuos	3.0	0.6	4.2	3.0	0.6	4.2	3.0	0.6	4.2	3.0	0.6	4.2
3	-	Aceptación por parte de la comunidad	5.0	1.0	-	1.0	0.2	-	5.0	1.0	-	5.0	1.0	-
4	3.0	Generación de subproductos con valor económico o de uso	1.0	0.2	0.6	3.0	0.6	1.8	3.0	0.6	1.8	3.0	0.6	1.8
5	5.0	Vida útil	5.0	1.0	5.0	1.0	0.2	1.0	5.0	1.0	5.0	3.0	0.6	3.0
6	-	Requerimiento de área	5.0	1.0	-	3.0	0.6	-	1.0	0.2	-	1.0	0.2	-
7	40.0	Costo												
7.1		Inversión	5.0			1.0			3.0			3.0		
7.2		Operación y mantenimiento	3.0			1.0			3.0			3.0		
7.3		Subtotal Costo		0.8	32.0		0.2	8.0		0.6	24.0		0.6	24.0
8	5.0	Diseño y construcción												
8.1		Criterios de diseño	5.0			5.0			5.0			3.0		
8.2		Experiencia del contratista	5.0			1.0			5.0			3.0		
8.3		Tecnología ampliamente probada	5.0			1.0			5.0			5.0		
8.4		Complejidad en la construcción y equipamiento	5.0			1.0			3.0			3.0		
8.5		Subtotal Diseño y construcción		1.0	5.0		0.4	2.0		0.9	4.5		0.7	3.5
9	10.0	Operación												
9.1		Flexibilidad de operación	5.0			3.0			5.0			3.0		
9.2		Confiabilidad del proceso	3.0			5.0			5.0			5.0		
9.3		Complejidad de operación del proceso	5.0			1.0			3.0			3.0		
9.4		Requerimiento de personal	5.0			1.0			3.0			3.0		
9.5		Disponibilidad de repuestos y centros de servicio	5.0			1.0			5.0			5.0		
9.6		Subtotal Operación		0.9	9.2		0.4	4.4		0.8	8.4		0.8	7.6
10	5.0	Entorno												
10.1		Influencia de la temperatura	5.0			5.0			5.0			3.0		
10.2		Producción de ruido	5.0			1.0			5.0			5.0		
10.3		Contaminación visual	5.0			3.0			5.0			5.0		
10.4		Producción de malos olores	5.0			5.0			5.0			5.0		
10.5		Generación de gases de efecto invernadero	5.0			5.0			5.0			5.0		
10.6		Condiciones para la reproducción de vectores	5.0			5.0			5.0			5.0		
10.7		Subtotal Entorno		1.0	5.0		0.8	4.0		1.0	5.0		0.9	4.7
11	100.0	Total		86.0		40.4			77.9			73.8		

Tabla 24

Matriz de decisión para el tratamiento primario

#	A % Rubros evaluados	B	Sedimentación primaria			Flotación			Filtración			Oxidación química		
			C Calificación	D C/5	E D*A	C Calificación	D C/5	E D*A	C Calificación	D C/5	E D*A	C Calificación	D C/5	E D*A
1	25.0	Aplicabilidad del proceso	5.0	1.0	25.0	3.0	0.6	15.0	3.0	0.6	15.0	3.0	0.6	15.0
2	7.0	Generación de residuos	3.0	0.6	4.2	3.0	0.6	4.2	3.0	0.6	4.2	3.0	0.6	4.2
3	-	Aceptación por parte de la comunidad	5.0	1.0	-	3.0	0.6	-	3.0	0.6	-	3.0	0.6	-
4	3.0	Generación de subproductos con valor económico o de uso	3.0	0.6	1.8	1.0	0.2	0.6	1.0	0.2	0.6	1.0	0.2	0.6
5	5.0	Vida útil	5.0	1.0	5.0	3.0	0.6	3.0	3.0	0.6	3.0	3.0	0.6	3.0
6	-	Requerimiento de área	5.0	1.0	-	1.0	0.2	-	3.0	0.6	-	3.0	0.6	-
7	40.0	Costo												
7.1		Inversión	5.0			1.0			3.0			1.0		
7.2		Operación y mantenimiento	5.0			1.0			3.0			1.0		
7.3		Subtotal Costo		1.0	40.0		0.2	8.0		0.6	24.0		0.2	8.0
8	5.0	Diseño y construcción												
8.1		Criterios de diseño	5.0			3.0			5.0			3.0		
8.2		Experiencia del contratista	5.0			1.0			5.0			1.0		
8.3		Tecnología ampliamente probada	5.0			5.0			5.0			3.0		
8.4		Complejidad en la construcción y equipamiento	5.0			1.0			5.0			1.0		
8.5		Subtotal Diseño y construcción		1.0	5.0		0.5	2.5		1.0	5.0		0.4	2.0
9	10.0	Operación												
9.1		Flexibilidad de operación	5.0			3.0			5.0			1.0		
9.2		Confiabilidad del proceso	5.0			3.0			5.0			1.0		
9.3		Complejidad de operación del proceso	5.0			5.0			5.0			1.0		
9.4		Requerimiento de personal	3.0			1.0			3.0			3.0		
9.5		Disponibilidad de repuestos y centros de servicio	5.0			1.0			3.0			3.0		
9.6		Subtotal Operación		0.9	9.2		0.5	5.2		0.8	8.4		0.4	3.6
10	5.0	Entorno												
10.1		Influencia de la temperatura	3.0			3.0			1.0			1.0		
10.2		Producción de ruido	5.0			3.0			5.0			5.0		
10.3		Contaminación visual	5.0			3.0			3.0			3.0		
10.4		Producción de malos olores	3.0			5.0			5.0			3.0		
10.5		Generación de gases de efecto invernadero	3.0			3.0			5.0			3.0		
10.6		Condiciones para la reproducción de vectores	5.0			5.0			3.0			3.0		
10.7		Subtotal Entorno		0.8	4.0		0.7	3.7		0.7	3.7		0.6	3.0
11	100.0	Total				94.2			42.2			63.9		39.4

Tabla 25

Matriz de decisión para el tratamiento secundario

#	A % Rubros evaluados	B	Humedales Artificiales			Multi Soil Layer System			Lodos Activados			Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente		
			C Calificación	D C/5	E D*A	C Calificación	D C/5	E D*A	C Calificación	D C/5	E D*A	C Calificación	D C/5	E D*A
1	25.0	Aplicabilidad del proceso	3.0	0.6	15.0	5.0	1.0	25.0	5.0	1.0	25.0	5.0	1.0	25.0
2	7.0	Generación de residuos	5.0	1.0	7.0	5.0	1.0	7.0	5.0	1.0	7.0	5.0	1.0	7.0
3	-	Aceptación por parte de la comunidad	3.0	0.6	-	5.0	1.0	-	5.0	1.0	-	5.0	1.0	-
4	3.0	Generación de subproductos con valor económico o de uso	5.0	1.0	3.0	5.0	1.0	3.0	5.0	1.0	3.0	5.0	1.0	3.0
5	5.0	Vida útil	5.0	1.0	5.0	5.0	1.0	5.0	5.0	1.0	5.0	5.0	1.0	5.0
6	-	Requerimiento de área	1.0	0.2	-	5.0	1.0	-	5.0	1.0	-	5.0	1.0	-
7	40.0	Costo												
7.1		Inversión	3.0			5.0			1.0			5.0		
7.2		Operación y mantenimiento	5.0			3.0			1.0			5.0		
7.3		Subtotal Costo		0.8	32.0		0.8	32.0		0.2	8.0		1.0	40.0
8	5.0	Diseño y construcción												
8.1		Criterios de diseño	5.0			5.0			5.0			5.0		
8.2		Experiencia del contratista	5.0			5.0			5.0			5.0		
8.3		Tecnología ampliamente probada	5.0			5.0			5.0			5.0		
8.4		Complejidad en la construcción y equipamiento	5.0			5.0			5.0			5.0		
8.5		Subtotal Diseño y construcción		1.0	5.0		1.0	5.0		1.0	5.0		1.0	5.0
9	10.0	Operación												
9.1		Flexibilidad de operación	5.0			3.0			3.0			3.0		
9.2		Confiabilidad del proceso	5.0			5.0			5.0			3.0		
9.3		Complejidad de operación del proceso	5.0			5.0			5.0			5.0		
9.4		Requerimiento de personal	5.0			5.0			5.0			3.0		
9.5		Disponibilidad de repuestos y centros de servicio	5.0			5.0			5.0			5.0		
9.6		Subtotal Operación		1.0	10.0		0.9	9.2		0.9	9.2		0.8	7.6
10	5.0	Entorno												
10.1		Influencia de la temperatura	5.0			3.0			5.0			3.0		
10.2		Producción de ruido	5.0			5.0			5.0			5.0		
10.3		Contaminación visual	5.0			5.0			5.0			5.0		
10.4		Producción de malos olores	5.0			5.0			3.0			3.0		
10.5		Generación de gases de efecto invernadero	5.0			5.0			3.0			3.0		
10.6		Condiciones para la reproducción de vectores	3.0			5.0			3.0			3.0		
10.7		Subtotal Entorno		0.9	4.7		0.9	4.7		0.8	4.0		0.7	3.7
11	100.0	Total				81.7			90.9			66.2		96.3

Tabla 26

Matriz de decisión para el tratamiento terciario

#	A % Rubros evaluados	B	Filtración por Membranas			Ósmosis Inversa			Desinfección (Cloración)			Adsorción con Carbón Activado		
			C Calificación	D C/5	E D*A	C Calificación	D C/5	E D*A	C Calificación	D C/5	E D*A	C Calificación	D C/5	E D*A
1	25.0	Aplicabilidad del proceso	5.0	1.0	25.0	3.0	0.6	15.0	5.0	1.0	25.0	5.0	1.0	25.0
2	7.0	Generación de residuos	5.0	1.0	7.0	3.0	0.6	4.2	3.0	0.6	4.2	5.0	1.0	7.0
3	-	Aceptación por parte de la comunidad	1.0	0.2	-	5.0	1.0	-	1.0	0.2	-	5.0	1.0	-
4	3.0	Generación de subproductos con valor económico o de uso	5.0	1.0	3.0	3.0	0.6	1.8	3.0	0.6	1.8	5.0	1.0	3.0
5	5.0	Vida útil	3.0	0.6	3.0	1.0	0.2	1.0	5.0	1.0	5.0	3.0	0.6	3.0
6	-	Requerimiento de área	3.0	0.6	-	3.0	0.6	-	1.0	0.2	-	5.0	1.0	-
7	40.0	Costo												
7.1		Inversión	3.0			1.0			3.0			3.0		
7.2		Operación y mantenimiento	3.0			3.0			5.0			3.0		
7.3		Subtotal Costo		0.6	24.0		0.4	16.0		0.8	32.0		0.6	24.0
8	5.0	Diseño y construcción												
8.1		Criterios de diseño	5.0			5.0			3.0			5.0		
8.2		Experiencia del contratista	3.0			1.0			3.0			3.0		
8.3		Tecnología ampliamente probada	5.0			3.0			5.0			5.0		
8.4		Complejidad en la construcción y equipamiento	5.0			3.0			3.0			3.0		
8.5		Subtotal Diseño y construcción		0.9	4.5		0.6	3.0		0.7	3.5		0.8	4.0
9	10.0	Operación												
9.1		Flexibilidad de operación	5.0			3.0			5.0			5.0		
9.2		Confiabilidad del proceso	5.0			3.0			5.0			5.0		
9.3		Complejidad de operación del proceso	3.0			3.0			5.0			3.0		
9.4		Requerimiento de personal	3.0			1.0			5.0			3.0		
9.5		Disponibilidad de repuestos y centros de servicio	3.0			1.0			5.0			3.0		
9.6		Subtotal Operación		0.8	7.6		0.4	4.4		1.0	10.0		0.8	7.6
10	5.0	Entorno												
10.1		Influencia de la temperatura	3.0			3.0			5.0			3.0		
10.2		Producción de ruido	5.0			5.0			5.0			5.0		
10.3		Contaminación visual	3.0			5.0			5.0			5.0		
10.4		Producción de malos olores	1.0			5.0			5.0			5.0		
10.5		Generación de gases de efecto invernadero	5.0			5.0			5.0			5.0		
10.6		Condiciones para la reproducción de vectores	1.0			5.0			5.0			5.0		
10.7		Subtotal Entorno		0.6	3.0		0.9	4.7		1.0	5.0		0.9	4.7
11	100.0	Total				77.1			50.1			86.5		78.3

Tabla 27

Matriz de decisión para tratamiento de lodos

#	A % Rubros evaluados	B	Secado Térmico (Horno solar)			Digestión Anaerobia			Digestión Aerobia			Deshidratación (Lecho de secado)		
			C Calificación	D C/5	E D*A	C Calificación	D C/5	E D*A	C Calificación	D C/5	E D*A	C Calificación	D C/5	E D*A
1	25.0	Aplicabilidad del proceso	5.0	1.0	25.0	5.0	1.0	25.0	1.0	0.2	5.0	5.0	1.0	25.0
2	7.0	Generación de residuos	5.0	1.0	7.0	3.0	0.6	4.2	3.0	0.6	4.2	5.0	1.0	7.0
3	-	Aceptación por parte de la comunidad	5.0	1.0	-	3.0	0.6	-	5.0	1.0	-	5.0	1.0	-
4	3.0	Generación de subproductos con valor económico o de uso	5.0	1.0	3.0	5.0	1.0	3.0	5.0	1.0	3.0	3.0	0.6	1.8
5	5.0	Vida útil	5.0	1.0	5.0	5.0	1.0	5.0	5.0	1.0	5.0	5.0	1.0	5.0
6	-	Requerimiento de área	5.0	1.0	-	1.0	0.2	-	1.0	0.2	-	5.0	1.0	-
7	40.0	Costo												
7.1		Inversión	3.0			1.0			1.0			3.0		
7.2		Operación y mantenimiento	3.0			1.0			1.0			5.0		
7.3		Subtotal Costo		0.6	24.0		0.2	8.0		0.2	8.0		0.8	32.0
8	5.0	Diseño y construcción												
8.1		Criterios de diseño	3.0			5.0			5.0			5.0		
8.2		Experiencia del contratista	3.0			3.0			3.0			5.0		
8.3		Tecnología ampliamente probada	3.0			5.0			5.0			5.0		
8.4		Complejidad en la construcción y equipamiento	3.0			1.0			1.0			5.0		
8.5		Subtotal Diseño y construcción		0.6	3.0		0.7	3.5		0.7	3.5		1.0	5.0
9	10.0	Operación												
9.1		Flexibilidad de operación	3.0			5.0			3.0			5.0		
9.2		Confiabilidad del proceso	5.0			5.0			3.0			5.0		
9.3		Complejidad de operación del proceso	5.0			1.0			3.0			5.0		
9.4		Requerimiento de personal	3.0			3.0			3.0			3.0		
9.5		Disponibilidad de repuestos y centros de servicio	5.0			1.0			3.0			5.0		
9.6		Subtotal Operación		0.8	8.4		0.6	6.0		0.6	6.0		0.9	9.2
10	5.0	Entorno												
10.1		Influencia de la temperatura	5.0			1.0			1.0			5.0		
10.2		Producción de ruido	5.0			1.0			3.0			5.0		
10.3		Contaminación visual	5.0			3.0			3.0			5.0		
10.4		Producción de malos olores	5.0			1.0			3.0			5.0		
10.5		Generación de gases de efecto invernadero	5.0			5.0			5.0			5.0		
10.6		Condiciones para la reproducción de vectores	5.0			3.0			3.0			3.0		
10.7		Subtotal Entorno		1.0	5.0		0.5	2.3		0.6	3.0		0.9	4.7
11	100.0	Total				80.4			57.0			37.7		89.7

De acuerdo a las matrices de decisión desarrolladas, se pudo determinar la mejor alternativa tecnológica para cada fase de tratamiento. En el caso del tratamiento preliminar, el cribado por medio de rejas resultó ser la mejor opción, seguida por el desarenador, la cual también obtuvo una calificación alta. Al presentar la planta área disponible, y en vista de la necesidad de contar con sistemas que adecuen de la mejor manera las aguas residuales a tratar, se propone la implementación de un cribado de rejas seguido de un desarenador de dos cámaras como tratamiento preliminar. (Ver **Tabla 23**)

Respecto al tratamiento primario, el sedimentador primario como es el tanque séptico se impuso notablemente frente a las demás alternativas. La existencia y el buen estado estructural de este reactor, fueron las variables claves para su selección, de esa manera, únicamente una repotenciación de su unidad traerá altas eficiencias en el tren de tratamiento. (Ver **Tabla 24**)

Asimismo, para la situación del tratamiento secundario el filtro anaerobio de flujo ascendente dicta como la mejor selección de tecnología. Al igual forma que, la fosa séptica, el contar con la estructura del reactor anaerobio en buen estado es una gran ventaja, pues, una readecuación en su sistema de tuberías (ingreso y salida) para un mejor flujo hidráulico, y un cronograma adecuado de operación y mantenimiento, el filtro puede aportar de buena manera en su función como tratamiento secundario. (Ver **Tabla 25**)

De la matriz de decisión en la **Tabla 26**, se determinó que la desinfección por medio de cloración es la tecnología óptima para el tratamiento terciario de la PTAR. La simplicidad que implica el manejo de un tanque de cloración, además, de ser una tecnología ampliamente comprobada y desarrollada en el medio, la vuelve la opción más viable. De igual manera, la inversión requerida no sería mayor.

Por último, en la matriz decisión del tratamiento de lodos (Ver **Tabla 27**), se obtuvo que el sistema de deshidratación a través de un lecho de secado calificó con el puntaje más alto. La facilidad en términos constructivos y operativos fijaron que dicha tecnología sería la más idónea para tratar los lodos depositados mayoritariamente en la fosa séptica y desarenador.

De esa manera, la propuesta de tren de tratamiento para la PTAR El Chorro, quedaría definida de la siguiente manera: una rejilla para cribado, seguido de un desarenador con 2 canales; este sistema en conjunto sería parte del tratamiento preliminar; como tratamiento primario se contaría con un tanque séptico de sedimentación primaria, continuando con un filtro anaerobio de flujo ascendente como parte del tratamiento secundario, y por último, con un tanque de cloración para efectuar la desinfección a modo de tratamiento terciario. Para un tratamiento

integral de la PTAR, se considera un lecho de secado para la deshidratación de los lodos generados en el sistema.

4.1. Aproximación de la eficiencia de remoción del tren de tratamiento seleccionado

Una aproximación a la eficiencia de remoción se desarrolla a continuación, con base en valores sugeridos por (Romero Rojas, 2000) para las diferentes unidades de tratamiento. El tren de tecnologías seleccionadas cumpliría con la depuración de los principales contaminantes a considerar dentro de un sistema descentralizado.

Tabla 28:

Aproximación de eficiencia de remoción de contaminantes del tren de tratamiento seleccionado.

Parámetro	Unidad	Desarenador		Fosa séptica		Filtro anaerobio		Tanque de cloración		Estándar normativo	Cumplimiento de la norma	Eficiencia total	
		Afluentes	Eficiencia de remoción	Efluente	Eficiencia de remoción	Efluente	Eficiencia de remoción	Efluente	Eficiencia de remoción	Efluente			
DBO5	mg/L	94.00	2%	92.12	35%	59.88	73%	16.46	0%	16.47	100	Cumple	82%
DQO	mg/L	225.60	2%	221.09	35%	143.71	70%	43.11	0%	43.11	250	Cumple	81%
Pt	mg/L	9.24	0%	9.24	15%	7.85	35%	5.11	0%	5.11	10	Cumple	45%
NTK	mg/L	49.69	0%	49.69	15%	42.24	50%	21.12	0%	21.12	50	Cumple	58%
pH	---	7.72	0%	7.72	0%	7.72	0%	7.72	0%	7.72	6-9	Cumple	0%
SS	mg/L	6.00	5%	5.70	58%	2.42	65%	0.85	0%	0.85	1	Cumple	86%
Ssusp	mg/L	304.00	0%	304.00	70%	91.20	0%	91.2	0%	91.20	100	Cumple	70%
ST	mg/L	56.00	0%	756.00	50%	378.00	85%	56.7	0%	56.70	1600	Cumple	93%
Sust solubles hexano	mg/L	27.00	0%	27.00	77%	6.21	0%	6.21	100%	0.01	30	Cumple	100%
CTE	NPM/100ml	1.30E+06	0%	1.30E+06	0%	1.30E+06	0%	1.30E+06	99.99%	130.00	2000	Cumple	99.99%

Capítulo 5 – MEMORIA TÉCNICA DE LA PROPUESTA DE REDISEÑO.**5. Memoria técnica de la propuesta de rediseño****5.1. Período de diseño**

El período de diseño hace referencia al lapso de tiempo en el que se espera que un proyecto o sistema opere con la capacidad y eficiencia adecuadas, sin requerir ampliaciones. Según el código ecuatoriano de la construcción, el período de diseño para sistemas de disposición de residuos líquidos es de 20 años, aunque en casos justificados se podría adoptar un período diferente.

En el caso específico del proyecto de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) El Chorro, se ha fijado un período de diseño de 15 años, con una revisión a los 10 años. Esto significa que la planta debe ser capaz de tratar el caudal de agua residual generado por la comunidad, manteniendo los niveles de calidad del efluente tratado dentro de los límites establecidos por la normativa.

Uno de los factores que influye en la elección de un período de diseño menor es la incertidumbre de la proyección poblacional, que es influenciada por múltiples factores externos. Factores socioeconómicos son determinantes y muy difíciles de predecir, pues la migración a áreas urbanas y a otros países suelen suceder en forma repentina. Así también, desastres naturales, acceso a servicios y otros factores están también presentes en la gran incertidumbre evidenciada. Además, el Ecuador no cuenta con un censo oficial desde el año 2010. Por lo tanto, para determinar el período de diseño de la PTAR El Chorro se llevó a cabo una evaluación de las necesidades de tratamiento actuales y futuras, considerando factores como el crecimiento poblacional, la calidad del agua residual y las regulaciones ambientales aplicables.

5.2. Población de diseño

Es fundamental determinar el número de personas que serán atendidas por el sistema de tratamiento de aguas residuales. El diseño del sistema se basa en la población actual y en una proyección de la población para el período de tiempo previamente analizado. Para obtener información sobre el tipo de población que conforma la comunidad de El Chorro, se requiere de datos adicionales proporcionados por el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) de la parroquia Santa Ana. El método de cálculo se basa en un enfoque geométrico que permite estimar el número de personas que serán atendidas por el sistema.

La población de diseño se determinó mediante un conteo presencial, es decir, se obtuvo una media de personas que habitan en cada vivienda. Para ello, se utilizó la herramienta digital Google Earth y se corroboró la información mediante entrevistas con los residentes del sector durante el censo presencial de viviendas que son conectados al sistema de alcantarillado. Como resultado, se obtuvo una población de 246 habitantes para el año 2022. (Ver **Tabla 29**).

5.2.1. Método Geométrico

El método geométrico es un enfoque para estimar la población futura de una comunidad. Este método implica tomar la población actual y multiplicarla por una tasa de crecimiento constante durante un periodo de tiempo determinado. Por lo tanto, la población en el tiempo t será:

$$P_f = P_o \cdot (1 + r_p)^t \quad (2)$$

Donde:

P_f : población futura (hab)

P_o : población incial (hab)

r_p : tasa de crecimiento promedio (%)

t : periodo de tiempo considerado (años)

Ecuaciones complementarias en la sección 10.1.1 del Apéndice.

Tabla 29

Datos históricos de población de acuerdo a una densidad promedio por vivienda.

Año	Número viviendas	Densidad por vivienda	Población
2008	23		138
2016	37		222
2022	41	6	246
2037	-----		249

5.3. Caudales de diseño

El caudal de diseño que ingresa a la planta de tratamiento de aguas residuales tiene un impacto crucial en su funcionamiento. A partir del caudal de diseño se proyectan las estructuras hidráulicas necesarias para conducir y manejar el agua residual. Para poder diseñar la PTAR adecuadamente, es esencial evaluar la entrada de aguas residuales domésticas e industriales, además de flujos de infiltración y de aguas ilícitas.

5.3.1. Caudal de aguas residuales domésticas

El caudal de aguas residuales domésticas se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{dom} = \frac{P \cdot D \cdot C_r}{86400} \quad (3)$$

Donde:

Q_{dom} : Caudal de aguas domésticas ($\frac{L}{s}$)

P: población (Hab)

D: dotación (L/Hab/s)

C_r : coeficiente de retorno

Dotación

La dotación se determinó con la ayuda de la empresa ETAPA EP, la cual recomendó un valor de 120 L/Hab/día como el consumo más representativo de la zona. Este valor se consideró más adecuado que los valores presentados en la **Tabla 54** del Código Ecuatoriano de la Construcción.

Coeficiente de retorno

El coeficiente de retorno utilizado en este estudio es la relación entre la cantidad de agua que ingresa al sistema de tratamiento y la dotación de agua de uso doméstico. Según las directrices literarias, se requiere que el coeficiente de retorno sea menor que 1. Dependiendo del tipo de comunidad y de su situación, como la falta de un sistema de alcantarillado, el valor

del coeficiente de retorno puede ser fijado en 0.80. Este valor está respaldado por las normas de diseño de sistemas de alcantarillado establecidas por la EMAAP-Q. (EMAAP-Q, 2009)

5.3.2. Caudal de infiltración

El caudal de infiltración se obtuvo mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{inf} = \frac{C_{inf} \cdot L \cdot \phi}{86400} \quad (4)$$

Donde:

Q_{inf} : caudal de infiltración ($\frac{L}{s}$)

C_{inf} : coeficiente de infiltración ($m^3/\text{día} \cdot mm \cdot km$)

L : longitud del colector (m)

ϕ : diámetro del colector (mm)

Realizando diferentes comparaciones mediante autores como la EMMAP-Q, EX IEOS, Metcalf y Eddy se estableció que el valor adecuado de coeficiente de infiltración que se ajusta a nuestro proyecto es de $0.05 m^3/\text{día} \cdot mm \cdot km$, para obtener un caudal de infiltración de 0.11 L/s, cabe mencionar que es necesario que el caudal de infiltración sea lógicamente menor al caudal doméstico, caso contrario se deberá cambiar de metodología.

Tabla 30

Resumen caudal de aguas de infiltración

Descripción	Símbolo	Magnitud	Fuente	Unidades	Observaciones
Coeficiente de infiltración	C_{inf}	0.05	Metcalf y Eddy	$m^3/(\text{día} \cdot mm \cdot km)$	Relaciona diámetro y Longitud del colector
Longitud del colector	L	954.00	Planos originales	m	Planos ETAPA EP
Diámetro del colector	ϕ	200.00	Planos originales	mm	Planos ETAPA EP-Tubería previo ingreso a la PTAR
Caudal de infiltración	Q_{inf}	0.11	Metcalf y Eddy	L/s	

5.3.3. Caudal de aguas ilícitas

La ecuación de aguas ilícitas se rige bajo la siguiente ecuación:

$$Q_{ili} = C \cdot QMH \quad (5)$$

$$QMH = M \cdot Q_{dom} \quad (6)$$

Donde:

Q_{ili} : caudal de aguas ilícitas $(\frac{L}{s})$

C : coeficiente de contribución de aguas ilícitas

QMH : caudal máximo horario

Q_{dom} : caudal de aguas residuales domésticas $(\frac{L}{s})$

Tabla 31

Resumen caudal de aguas ilícitas

Descripción	Símbolo	Magnitud	Fuente	Unidades	Observaciones
Coeficiente de aguas ilícitas	C	0.15	EMAAP-Q	---	Conexiones de agua lluvia y lavandería
Factor de mayoración	M	3.00	MANUAL IEOS	---	
Caudal máximo horario (domestico mayorado)	QMH	0.90		L/s	$QMH=M.Q_{dom}$
Caudal aguas ilícitas	Qilic	0.13		L/s	

El caudal de aguas ilícitas es notable a lo largo de la red de alcantarillado, debido a que, residentes conectan sus bajantes de agua lluvia y otras aguas provenientes de lavanderías.

5.3.4. Caudal de aguas residuales industriales

La comunidad de El Chorro carece de industrias, esto se verifico con una inspección visual recorriendo desde el inicio del sistema de alcantarillado hasta la entrada a la PTAR, por lo que su aporte será nulo.

Finalmente, la suma de los diferentes caudales dará como resultado el caudal medio diario.

$$qmd = Q_{dom} + Q_{inf} + Q_{ili} + Q_{ind} \quad (7)$$

Tabla 32

Resumen de caudales que forman parte del caudal medio diario

Descripción	Símbolo	Magnitud
Caudal aguas residuales domésticas	Qdom	0.30L/s
Caudal de infiltración	Qinf	0.11L/s
Caudal aguas ilícitas	Qilic	0.13L/s
Caudal aguas residuales industriales	Qind	-
Caudal medio diario	qmd	0.55L/s

A continuación, se presentan los valores de diferentes caudales de diseño, el cual es un parámetro fundamental para el diseño de las estructuras hidráulicas posteriores.

Tabla 33

Caudales de diseño

Descripción	Símbolo	Magnitud	Unidades	Observación
Caudal medio diario	qmd	0.55	L/s	
Caudal máximo horario	QMH	1.64	L/s	
Coeficiente de mayoración K1	K1	1.25	---	NORMA SENAGUA
Caudal máximo diario	QMD	0.68	L/s	

5.4. Tratamiento Preliminar

5.4.1. Transición

Las estructuras de transición permiten evitar pérdidas de energía y flujos turbulentos no deseados. Se recomienda utilizar una transición de tipo alabeada, sin embargo, se sabe que, con una longitud mínima lineal por debajo de los límites de apertura, funcionará adecuadamente. La longitud mínima de la transición lineal depende de tres parámetros: el ancho inicial, el ancho final y el ángulo de apertura.

$$L_{transición} = \frac{b_{ini} - b_{fin}}{2 \cdot \tan \alpha} \quad (8)$$

Tabla 34

Valores obtenidos para distintas transiciones

Transición	Magnitud	Unidades	Ángulo
Canal de entrada	0.50	m	8.0°
Desarenador entrada	1.00	m	12.5°
Desarenador salida	1.00	m	12.5°

5.4.2. Canal de Entrada

Como parte del proceso, se planteó la construcción de dos posibles canales, siendo el canal rectangular el más simple y sencillo en cuanto a su diseño y construcción. Sin embargo, la propuesta de un canal triangular puede considerarse válida al solucionar problemas de velocidad de arrastre y tirante hidráulico. Pese a ello, el canal triangular carece de una correcta transición entre las estructuras hidráulicas presentes, por lo que su construcción tendría ciertos inconvenientes.

La ecuación de Manning, que se muestra a continuación, permite el diseño de un canal prismático sin importar el tipo de sección transversal.

$$Q = \frac{1}{\eta} \cdot A_{mojada} \cdot \left(\frac{A_{mojada}}{P_{mojado}} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{S_o} \quad (9)$$

Con un ancho de 0.30 metros, un coeficiente de rugosidad de 0.014 y una pendiente del 0.5%, se obtiene los valores presentes en la **Tabla 35**.

Tabla 35

Parámetros de un canal con sección rectangular

Caudal (l/s)	Tirante normal (m)	Número de Froude	Velocidad (m/s)	Energía (m kg/kg)
Mínimo	0.30	0.0058	0.68	0.16
Medio	0.51	0.0084	0.70	0.20
Máximo	1.54	0.017	0.76	0.32

5.4.3. Reja de entrada o cribado

La reja de entrada forma parte del tratamiento preliminar. Para nuestro caso de estudio, se proyecta el uso de varillas de acero con un diámetro de 10 mm con un coeficiente de pérdida o forma igual a $k=1.79$. Respetando las recomendaciones de Romero, el espaciamiento, ancho, inclinación, velocidad de acercamiento y carga de velocidad se obtienen los valores presentes en la **Tabla 36** y **Tabla 37**.

A continuación, se encuentran las ecuaciones mencionadas para la obtención de la perdida de carga.

$$h = c \times \frac{v^2}{2g} \quad (10)$$

$$c = k \times \left(\frac{t}{s}\right)^{4/3} \times \sin \delta \quad (11)$$

Donde:

h: perdida de energía o de carga

v: velocidad media antes de la rejilla

c: coeficiente

k: coeficiente de perdida (1.79 para barras circulares)

t: espesor del barrote

s: separación entre barrotes.

δ : ángulo de inclinación, con la horizontal

Sírvase de referencia la **Figura 32** de la sección 10

Tabla 36

Parámetros del diseño de la reja de entrada

Parámetro	Valor	Unidad
Diámetro varilla	10	mm
Espaciamiento	25	mm
Angulo con la vertical	45	grados

Parámetro	Valor	Unidad
Coeficiente de perdida	1.79	-
Ancho total	300	mm
Número de varillas	9	unidades

Tabla 37*Parámetros obtenidos del canal rectangular*

Caudal (l/s)	Velocidad (m/s)	Régimen de flujo	Perdida de Energía (m)
0.30	0.16	Subcrítico	0.00048
0.51	0.20	Subcrítico	0.00078
1.54	0.31	Subcrítico	0.0018

Nota. Parámetros del canal con sección rectangular.

5.4.4. Control del flujo

La construcción de vertederos laterales es una práctica común en la ingeniería hidráulica para controlar el flujo de agua en canales abiertos y evitar inundaciones. La metodología de diseño de un vertedero lateral depende de diversos factores, como la geometría del canal y el caudal de agua a controlar.

Una de las consideraciones importantes en el diseño de un vertedero lateral es la selección de la altura adecuada de la cresta del vertedero para asegurar un flujo uniforme del agua sobre la misma. El criterio de diseño "la proporción del gasto total vertido, al gasto en el canal de aproximación (antes del vertedero) sea igual o menor de 0.75" se utiliza para garantizar que la descarga del vertedero sea estable y no se produzcan turbulencias excesivas que puedan afectar la medición del caudal.

La longitud del vertedero también es un factor importante en su diseño. La obtención de la longitud del vertedero implica un conjunto de iteraciones en el que se busca igualar las energías específicas aguas arriba y aguas abajo del vertedero. Para ello, se utilizan las ecuaciones básicas del diseño de vertederos laterales, como la ecuación (12) y (13).

Otro aspecto relevante en la metodología de un vertedero lateral es la selección del tipo de cresta a utilizar. Los ensayos realizados en canales rectangulares han demostrado que el coeficiente de descarga varía dependiendo del tipo de cresta. Para una cresta de pared

delgada, el coeficiente de descarga es de aproximadamente 0.6976, mientras que para una cresta redondeada y una cresta de forma trapecial con un estrechamiento en el canal aguas abajo es de 0.7365 y 0.5581, respectivamente (Sotelo Ávila, 2002).

En resumen, la metodología de diseño de un vertedero lateral implica la consideración de múltiples factores, como la altura, longitud y el tipo de cresta a utilizar. La selección adecuada de estos parámetros es crucial para garantizar un flujo uniforme del agua sobre el vertedero y prevenir inundaciones en la zona.

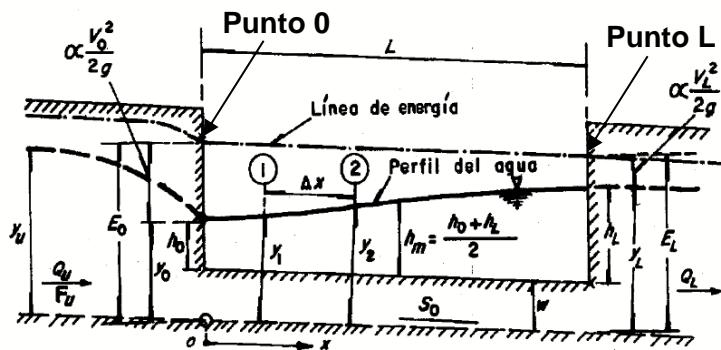
Partiendo del supuesto:

Punto 0: Aguas arriba del vertedero

Punto L: Aguas Abajo del vertedero

Figura 30

Flujo Subcrítico en un canal con vertedero lateral



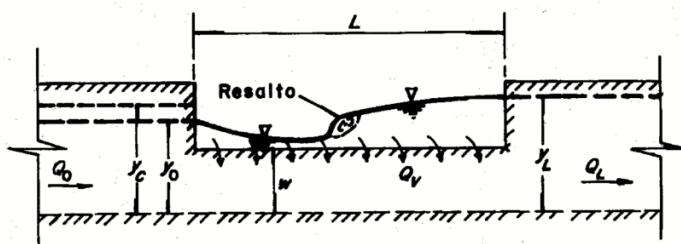
Nota. Adaptado de *Hidráulica de Canales* (p.601), (Sotelo Ávila, 2002), UNAM.

El coeficiente Alpha indica la relación entre la carga de velocidad en los puntos 0 y L del vertedero lateral. Para obtener la longitud esperada del vertedero, se debe considerar la altura de la pared del vertedero entre 1/3 a 2/3 del tirante hidráulico aguas abajo y calcular el calado hidráulico en ambos puntos. Cabe destacar que en canales con vertederos en régimen supercrítico o cercanos a él ($Fo > 0.75$), se presenta un comportamiento complejo, como el resalto hidráulico. En estos casos, la eficiencia del vertido disminuye significativamente con la carga y el flujo desviado apenas aumenta con la longitud (Sotelo Ávila, 2002).

En el caso del canal de estudio, el régimen del flujo de entrada es subcrítico, pero su número de Froude es superior a 0.75, lo que podría generar un comportamiento similar. Para facilitar el estudio, se añadió una longitud adicional como factor de seguridad, a pesar de que el flujo desviado no varía significativamente con la longitud.

Figura 31

Perfil de flujo en canal



Nota. *Regimen de flujo mixto.*

$$Q_v = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \sqrt{2g} \cdot L \cdot \bar{h}^{3/2} \quad (12)$$

Donde:

μ es el coeficiente de descarga (adimensional).

L es la longitud del vertedero.

\bar{h} es la carga media en la distancia L

$$L = \frac{3 \cdot b}{2 \cdot \sqrt{\alpha} \cdot \mu} \cdot \left[\phi_M \left(\frac{y_L}{E} \right) - \phi_M \left(\frac{y_0}{E} \right) \right] + \frac{3 \cdot k \cdot E}{4 \cdot \sqrt{\alpha} \cdot \mu} \cdot \left[\phi_S \left(\frac{y_L}{E} \right) - \phi_S \left(\frac{y_0}{E} \right) \right] \quad (13)$$

L: Longitud de un vertedero trapezoidal

Para calcular la longitud de un canal rectangular se hace $k=0$, mientras que en un canal triangular se hace $b=0$.

Tabla 38

Resultados del vertedero lateral

Altura del vertedero	10	mm
Longitud del vertedero	100	cm

Las ecuaciones complementarias para la obtención de la longitud del vertedero de excesos se encuentran en la sección 10.2.2-Control de flujo.

5.4.5. Sedimentación

Como parte del análisis del proyecto en cuestión, se ha considerado la sedimentación de partículas discretas de tipo 1, para la cual las leyes clásicas formuladas por Newton y Stokes proporcionan una solución para la interacción entre el peso efectivo de la partícula y la fuerza de arrastre (Metcalf & Eddy, 1991).

Un ejemplo común de clarificación es la separación de partículas discretas, como en el caso de estanques o cámaras desarenadoras utilizadas en sistemas mixtos de alcantarillado para separar arenas y otros sólidos pesados de las aguas recolectadas (Rivas Mijares, 1978).

En cuanto al sedimentador de tanque rectangular con flujo horizontal, es altamente flexible en su comportamiento de flujo gracias al ajuste de dispositivos de control para la salida, teniendo una construcción sumamente sencilla (vertedero surto).

Siguiendo los pasos provistos por Metcalf y Eddy en su texto "Ingeniería de aguas residuales", la velocidad de sedimentación puede verse afectada por el peso específico del material a decantar, el diámetro crítico de la partícula, la viscosidad dinámica y la densidad del medio (Aguas residuales).

Como parte del procedimiento, es necesario resolver el bucle finito de iteración. A continuación, se presentan diferentes relaciones que permiten obtener la velocidad final de una partícula esférica en un tanque de sedimentación.

$$V_s = \left[\frac{4}{3} \cdot \frac{(\rho_s - \rho_L) \cdot \varnothing}{C_D \cdot \rho} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

\varnothing = diámetro de la partícula.

V_s = Velocidad de sedimentación

Es importante mencionar que, el diámetro crítico de la partícula, o diámetro máximo tolerable, es la dimensión por encima de la cual todas las partículas se decantará y depositarán en el fondo del sedimentador. Diámetros inferiores pueden ocasionar problemas en el funcionamiento de estructuras posteriores, debilitando y socavando la vida útil de equipos y maquinaria.

Dentro del análisis del sedimentador, se requiere conocer la relación entre el coeficiente de arrastre y el número de Reynolds. Esta relación es fundamental para determinar el régimen de flujo en el sedimentador, lo que permitirá seleccionar el tipo y diseño adecuado del equipo de decantación.

Donde:

$$C_D = \frac{24}{N_R} + \frac{3}{\sqrt{N_R}} + 0.34 \quad (\text{Coeficiente de Arrastre}) \quad (15)$$

Mientras que la longitud mínima del desarenador se obtiene de:

$$L = \frac{C_{seguridad} \cdot H_{desarenador} \cdot V_h}{V_s} \quad (16)$$

$C_{seguridad}$: Coeficiente de seguridad

$H_{desarenador}$: Profundidad del desarenador

V_h : Velocidad horizontal

Tabla 39

Resultados de las dimensiones del desarenador

Dimensiones	Magnitud	Unidades
Ancho desarenador (B):	0.30	m
Largo desarenador (L):	3.00	m
Altura desarenador (H):	0.25	m
Relación L/B:	10.00	-

Es necesario comprobar los criterios de diseño propuestos por la guía de desarenadores y sedimentadores, en el apartado 10.2.3-Desarenador.

5.4.6. Vertedero proporcional sutro

El vertedero proporcional sutro es un diseño de gran simplicidad que se utiliza en canales abiertos para medir el flujo de agua que atraviesa un punto determinado. Antes de realizar el prediseño de esta estructura, es necesario contar con información sobre el caudal máximo, las dimensiones del canal, la carga hidráulica y el coeficiente de descarga. Existen ecuaciones empíricas probadas en laboratorios que relacionan el caudal y la carga hidráulica, lo que permite obtener el caudal que atraviesa la estructura de control.

Según la Guía desarenadores y sedimentadores:

$$Q = 1.84 \cdot L \cdot h^{\frac{3}{2}} \quad (17)$$

Donde

L Ancho del vertedero (m)

h : Carga sobre el vertedero (m)

Q = Flujo de agua a través del vertedero sotro.

La forma de las paredes del vertedero es dada por:

$$\frac{x}{b} = 1 - \frac{2}{\pi} \tan^{-1} \sqrt{\frac{y}{a}} \quad (18)$$

Dando como resultado:

Tabla 40

Resultados vertedero sotro

Caudal	Ancho - L (m)	Altura - h (m)
máx.	0.0033	0.25
med.	0.0058	0.083
mín.	0.0079	0.0079

Nota: Revisar la **Figura 5** de la sección 2.4.1.6

5.5. Tratamiento Primario

El tratamiento primario es esencial en el tratamiento de aguas residuales, y en este proyecto se busca mejorar ciertas características hidráulicas de la fosa séptica existente mediante la adición de una válvula de limpieza, cámara de rebose, entre otros elementos. La combinación eficiente entre la fosa séptica y un filtro anaerobio de flujo ascendente ha hecho que sea adoptado en gran parte de zonas rurales y pequeñas plantas de aguas residuales en países en vías de desarrollo.

La comparación de distinta metodología ha permitido seleccionar el diseño de una fosa séptica convencional mediante el enfoque de Sinnatamby & Mara

$$V_T = V_S + V_D + V_{AL} + V_{Sn}$$

$$(19)$$

Donde:

V_T : Volumen total de la fosa séptica (m^3)

Volumen de la zona de sedimentación (Vs)

$$V_S = 10^{-3} \cdot P \cdot q \cdot t_h [m^3]$$

Donde “th” es el periodo de retención hidráulica (días) y es el valor mayor entre:

(20)

$$t_h = 1.5 - 0.3 \cdot \log(P \cdot q)$$

$$t_h \geq 0.2 \text{ días}$$

P: población servida (hab.)

q: caudal de aguas residuales (L/día/hab.)

Volumen de la zona de digestión (VD)

$$V_D = 0.5 \cdot P \cdot t_d [m^3]$$

Donde:

$$t_d = 1853 \cdot T^{-1.25}$$

(21)

td: tiempo de digestión anaerobia de los sólidos sedimentados (días)

T: temperatura (°C)

Volumen de la zona de acumulación de lodo (VAL)

$$V_{AL} = r \cdot n \cdot P [m^3]$$

(22)

r: tasa de acumulación del material estabilizado

n: intervalo entre operaciones de limpieza (años)

Volumen de sobrenadante (Vsn)

$$V_{Sn} = ks \cdot V_{AL} [m^3]$$

(23)

ks: tasa equivalente de acumulación de lodo

Para determinar los diferentes volúmenes necesarios, es fundamental considerar el tiempo mínimo de retención hidráulica. En este caso, se encontró que el tiempo obtenido fue menor al esperado. Asimismo, la temperatura es un factor clave que influye en el tiempo de digestión anaerobia. Se registró una temperatura ambiente de 17°C, la cual se modificó utilizando correlaciones empíricas y se fijó en 22.4°C.

En cuanto a la zona de acumulación de lodos, se optó por una tasa de acumulación de material estabilizado de 0.06 m³/año y por último, se determinó que el sobrenadante se encuentra entre el 30% y el 40% de la tasa de acumulación de lodo.

Tabla 41

Volúmenes del tanque séptico

Volumen de la zona de sedimentación (Vs)	26.52	m ³
Volumen de la zona de digestión (VD)	4.74	m ³
Volumen de la zona de acumulación de lodo (VAL)	29.88	m ³
Volumen de sobrenadante (Vsn)	8.97	m ³
Volumen Total	70.1	m³

Tabla 42

Comparación entre el tanque séptico actual y el obtenido

	Actual	Obtenido
Volumen (m ³)	92.11	81.3
Altura Efectiva (m)	2.55	2.25
Ancho Efectivo (m)	4.2	4.25
Longitud Efectiva (m)	8.6	8.5
Relación L/B	2.04	2

En el apartado 10.3-Tratamiento Primario, se comprueba los criterios de diseño recomendados por la guía para el diseño de tanque sépticos de la CEPIS.

5.6. Tratamiento Secundario

En el marco del proyecto de tratamiento secundario de aguas residuales, se ha decidido aprovechar la estructura existente del filtro anaerobio para su reutilización. Se ha optado por modificar la configuración de las tuberías de entrada y salida con el objetivo de mejorar la eficiencia del sistema y prevenir obstrucciones en la red de flujo.

Para adaptar la estructura original y lograr la eliminación de materia orgánica en suspensión, es necesario agregar elementos específicos. Para distribuir las tuberías en el filtro anaerobio de flujo ascendente se emplearán diferentes niveles, comenzando desde la parte inferior del filtro y adoptando la forma de una "H". De esta manera, se logrará garantizar una distribución uniforme del flujo de agua en todo el filtro. Para este diseño se prevé el uso de tuberías perforadas de 160 mm y 110 mm, con un diámetro de agujero de 2 cm cada 20 cm.

De acuerdo con el levantamiento planimétrico y altimétrico realizado, el filtro anaerobio tiene un diámetro de 5.3 m, lo que le otorga un área superficial de 22.10 m². En cuanto al caudal de diseño, se ha tomado un criterio conservador basado en el caudal máximo horario. Es importante destacar que, el caudal de diseño no equivale necesariamente al caudal máximo que el filtro puede tratar, sino que se selecciona para asegurar su eficiente funcionamiento y el cumplimiento de los estándares de calidad de agua requeridos.

Suposiciones básicas, a partir del cual se conocerá el limitante.

- Carga Hidráulica

$$V = Q \cdot TRH \quad (24)$$

Donde:

Q: caudal (m³/día)

TRH: tiempo de retención hidráulica (días)

Un reactor hidráulicamente limitado se refiere a una situación en la que el caudal de agua residual a tratar es demasiado y la concentración de esa agua residual no es lo suficientemente alta como para generar la cantidad necesaria de lodo en el reactor. En otras palabras, hay un exceso de caudal y una concentración insuficiente de agua residual.

- Carga Orgánica

$$COV = \frac{Q \cdot S_o}{V} \quad (25)$$

Donde:

S_o : Concentración total de DBO en el afluente, en mg/L

COV: Carga orgánica volumétrica

La carga hidráulica superficial está sujeta al caudal y al área superficial del filtro, al imponernos un valor de CHS, determinaremos el área del filtro.

$$CHS = \frac{Q}{A}$$

Donde:

CHS: Carga hidráulica superficial

A: Área superficial del filtro

Eficiencia de remoción del filtro anaerobio

$$E = 100 \cdot (1 - S_k \cdot (TRH)^{-m})$$

Donde:

E: eficiencia de un filtro anaerobio, en por ciento

S_k : coeficiente empírico del sistema, se adopta un valor recomendado de 0.87.

m= Coeficiente empírico del medio filtrante, se recomienda un valor de 0.55.

Ecuaciones complementarias se encuentra en el apartado del Apéndice-**Error! No se encuentra el origen de la referencia. 10.4**

Tabla 43

Datos de entrada para el diseño del filtro anaerobio.

Descripción	Símbolo	Magnitud	Unidades
Caudal de diseño	Q máx.	1.54	L/s
Diámetro del filtro anaerobio	D	5.3	m
Área superficial del filtro anaerobio	A	22.10	m^2

Carga superficial	CHS	6	m ³ /m ² /día
Tiempo de retención hidráulica	TRH	10	Horas
Carga orgánica del lecho filtrante	COV	0.37	Kg DBO/ m ³ /día
Eficiencia de remoción	E	76.7	%
Concentración de DBO esperada	$DBO_{efluente}$	25.33	mg/l
Velocidad ascensional	V asc	0.25	m/hora

Durante el procedimiento, es necesario contar con la información de la concentración de demanda bioquímica de oxígeno. A través del análisis físico-químico realizado por la empresa ETAPA EP, se obtuvo una concentración de demanda bioquímica de oxígeno (So) de 55 mg/L. Sin embargo, por recomendación del tutor de esta tesis se decidió trabajar con un valor de 50 g per cápita/día, o que es lo mismo a 93.89 mg/L como supuesto para los cálculos.

Para la determinación del volumen del medio filtrante, se utilizaron cálculos basados en un material granular como la grava. No obstante, como parte de una de las recomendaciones del diseño, se indica la posibilidad de sustituir este material por un empaquetado plástico como las rosquetas o los subproductos de la fabricación de tuberías de PVC, disminuyendo notablemente la masa presente en el sistema.

5.7. Tratamiento Terciario

Se optó como parte del tratamiento terciario la desinfección de aguas residuales provenientes del filtro anaerobio mediante tanques de cloración, debido a la alta disponibilidad en el mercado, y a la experiencia acumulada, siendo el desinfectante más utilizado en plantas de tratamientos en pequeñas comunidades. (Noyola et al., 2013)

Tabla 44.

Datos para Determinar la Dosificación del Cloro

Dosificación del cloro		
Parámetros	Valor	Unidad
Caudal máximo diario	55.25	m ³ /día
Caudal medio diario	44.20	m ³ /día
Dosis	10.00	mg/L
Concentración de cloro en solución	10 100000 100.00	% ppm g/L

El caudal medio diario junto al caudal máximo diario, permitió obtener el suministro de cloro necesario, de esta manera, se llegó a una dosificación diaria [L/día]. Aunque el tiempo de contacto sea una de las variables más importantes en el proceso de desinfección, se prefirió analizar casos particulares entre 20 y 30 min. De esta manera, se garantice una correcta mezcla y reacción con el agua residual circundante, a continuación, se presenta los valores adoptados para cada tipo de caudal.

Las ecuaciones presentes permitieron realizar el prediseño de los tanques de cloración:

$$\text{Suministro}_{\text{cloro}}[\text{kg Cl}_2/\text{día}] = \frac{Q \cdot \text{Dosis}}{1000} \quad (28)$$

Donde:

Q: Caudal, en m³/día

Dosis: 10 mg/L

$$\text{Dosificación}_{\text{diaria}} = \frac{\text{Suministro}_{\text{cloro}}}{\text{Concentración}} \quad (29)$$

Donde:

Concentración: 10 % = 100000 ppm = 100 g/L

$$\text{Volumen} = Q \cdot \text{tiempo de contacto} \quad (30)$$

$$\text{Area}_{\text{transversal}} = \text{Ancho} \cdot \text{Altura}$$

Los valores de ancho y altura pueden variar debido a cambios en la longitud. (31)

$$\text{Longitud}_{c/u} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area}_{\text{transversal}} \cdot \# \text{compartimientos}} \quad (32)$$

$$\text{Criterio de diseño} \quad (33)$$

$$\frac{Longitud}{Ancho\ de\ compartimientos} > 10$$

Tabla 45

Tiempos de Contacto en Función del Caudal.

Parámetros	Valor	Unidad
Tiempo de contacto para caudal máximo	20	min
Tiempo de contacto para caudal medio	30	min

Posteriormente, se planteó el desarrollo de diferentes compartimientos en modo de laberinto para el tanque de cloración, de esta manera se asegura que el agua residual permanezca el tiempo necesario, similar a un flujo pistón. Este proyecto permite el ahorro de una importante cantidad de área, el cual es necesario para alcanzar los parámetros permisibles en el vertido de aguas residuales sobre fuentes hídricas superficiales.

Tabla 46

Dimensionamiento del Tanque de Cloración

Parámetros	Valor	Unidad	Observación
Número de Compartimientos	4		Compartimiento en forma de laberinto.
Ancho del Compartimiento	0.2	m	Dimensión horizontal paralela a la superficie del terreno.
Altura del Nivel de Agua en el Compartimiento	0.5	m	Dimensión vertical, con dirección normal a la superficie.
Volumen Requerido	0.921	m ³	A partir del caudal medio y un tiempo de contacto de 30 min.
Área Transversal	0.10	m ²	Ancho por Altura del compartimiento.
Longitud Obtenida	9.21	m	Volumen neto para el área transversal.

Parámetros	Valor	Unidad	Observación
Longitud de Cada Compartimiento	2.30	m	Longitud total dividido para el número de compartimientos.
Longitud adoptada	2.30	m	Valor redondeado.
Relación Longitud/Ancho	11.51	-	>10, disminuyendo zonas muertas.

5.8. Tratamiento de Lodos

La selección adecuada del tratamiento de lodos, se basó en función en la sencillez de operación, y su costo económico(Noyola et al., 2013). Según el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), los lechos de secado son generalmente el método más simple y económico de deshidratar los lodos estabilizados (lodos digeridos), siendo ideal para pequeñas comunidades.

Siguiendo la metodología adoptada por Von Sperling en su obra “Tratamiento y Disposición de Lodos”, la producción de lodos en cada etapa del tratamiento de aguas residuales varía en función del tipo de parámetros en remoción.

Por lo que, los lodos provenientes del tratamiento preliminar serán sólidos cuyo diámetro supere al espaciamiento en las rejillas. Al igual, los residuos provenientes del desarenador serán partículas iguales o mayor al diámetro crítico establecido.

Continuando con el tratamiento primario, la producción de lodos depende de la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos. Es decir que, para un tanque séptico, la masa de lodos a tratar será igual a la carga en el afluente por la eficiencia.

$$SS_{carga} = \%_{\text{eficiencia}} \times (Q_{\text{medio_diario}} \times SS_{\text{concentración_afluente}}) \quad (34)$$

$$SS_{\text{flujo}} = \frac{SS_{\text{carga}}}{Contenido_{\text{solido seco}} \times \text{densidad}} \quad (35)$$

Comparando los valores de flujo y de producción per cápita propuestos por el autor Von Sperling, se encuentran por encima del límite superior.

Tabla 47

Parámetros de flujo y producción de lodos per-cápita en el tratamiento primario

Parámetro	Obtenido	Límite Tanque	Límite Tratamiento
		Séptico	Convencional
SS-carga per cápita (gr SS/Hab/día)	34.81	20-30	35-45
SS-flujo per cápita (L/Hab/día)	0.853	0.3-1.0	0.6-2.2

Tanto la materia orgánica como inorgánico remanente será eliminada en el tratamiento secundario y terciario. La producción de lodo en el tratamiento secundario dependerá de la parte no biodegradable del agua residual, es decir que la Demanda Química de Oxígeno, será uno de los parámetros fundamentales.

Una DBO per cápita de 50 gr/Hab/día son una de las recomendaciones adoptadas por el tutor de la tesis, él Ing. Andrés Alvarado, en donde se evaluó y comparo, a la caracterización del agua residual realizada por ETAPA EP. Otro valor propuesto por el autor Von Sperling es de 0.1 kg DQO/Hab/día, manteniendo una relación de 2 DBO: 1 DQO, se ajusta al valor presentado en la recomendación anterior.

Tabla 48

Parámetros de flujo y de producción per-cápita en el tratamiento secundario

Parámetro	Recomendación	Obtenido	Límite Filtro Anaerobio
SS-carga per cápita (gr SS/Hab/día)	15	3.23	7-9
SS-flujo per cápita (L/Hab/día)	0.30	0.08	0.2-1.80

Esta clara diferencia entre los valores obtenidos y límites establecidos se debe a recomendaciones que parten de la premisa que en las unidades de tratamiento los periodos de detención de lodos son grandes.

Siguiendo las ecuaciones descritas con anterioridad se tendrá:

Tabla 49

Producción de lodo en cada fase de tratamiento.

Tratamiento	Producción de Lodos (kg/día)	Flujo de Lodos (L/día)
Preliminar	-	-
Primario	8.67	214.44
Secundario	3.73	74.70
Terciario	-	-
TOTAL	12.40	289.14

El dimensionamiento del lecho de secado, depende de la cantidad de lodo a ser deshidratado, el tiempo de ciclo operacional y de la tasa de carga nominal de sólidos.

Las ecuaciones presentadas relacionan la productividad, la carga de sólidos aplicada y el área requerida.

$$\text{Productividad} = \frac{\text{SLR}}{T} \quad (36)$$

$$T = T_c + T_d \quad (37)$$

$$\text{Volumen} = T \times SS_{flujo} \quad (38)$$

$$A = \frac{SS_{carga} \times T}{\text{SLR}} \quad (39)$$

Tabla 50

Dimensionamiento lecho de secado.

Parámetro	Valor	Unidad	Comentario
Humedad	65	%	Humedad esperada.
SLR	15	kg TS/m ²	Recomendaciones; <15 kg TS/m ²
Productividad	0.50	kg TS/m ² /día	
T _c	30	día	Tiempo de limpieza
T _d	3	día	Tiempo de secado
T	33	día	Tiempo por ciclo
Volumen	10	m ³	Volumen adoptado de lodo deshidratado por ciclo
Área	27.29	m ²	Área requerida para el lecho de secado

La disposición de celdas de secado, está sujeta a cambios de acuerdo a la geometría de la PTAR. Como sugerencia se tendrá 4 celdas de 6.75 metros cuadrados cada una, con un ancho de 3.00 metros y una longitud de 2.25 metros.

La altura de la capa de lodos en el lecho de secado será de 0.37 metros.

Tabla 51

Propuestas de tratamiento para cada etapa en el manejo de lodos

Etapas	Propuesta
Espesamiento	Tratamiento Primario
Estabilización	Digestión Anaerobia en Tratamiento Primario
Acondicionamiento	No Aplica
Deshidratación	Lechos de Secado

Capítulo 6 – PRESUPUESTO

6.1. Presupuesto

El presupuesto desempeña un papel crucial en la elaboración de proyectos, ya que permite una adecuada planificación y gestión de los recursos financieros disponibles. Al establecer límites claros en cuanto a los gastos, el presupuesto ayuda a garantizar que los proyectos se desarrollen de manera eficiente y se alcancen los objetivos establecidos. La importancia del presupuesto radica en que proporciona una visión integral de los recursos financieros necesarios para llevar a cabo un proyecto. Permite identificar los costos asociados a cada actividad, evaluar la viabilidad económica y establecer prioridades en la asignación de recursos.

Para el presente trabajo se desarrolló un presupuesto en base a las cantidades de obra de los diferentes rubros considerados para ejecutar el rediseño propuesto de la planta. Las cantidades fueron calculadas en base a los planos anexados en la parte final del presente trabajo de titulación. Los precios unitarios utilizados son manejados por un ente municipal de la ciudad de Cuenca con fecha de actualización del año 2022. Los costos involucrados son tanto los costos directos, como los costos indirectos de un 18%. A continuación, se presenta la tabla dividida para cada fase de tratamiento.

Tabla 52

Presupuesto para la PTAR El Chorro

Ítem	Código	Descripción	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
1.		Obras preliminares				
1.1.	520010	Desbroce, destronque y limpieza a mano (incluye remoción y reposición de estructuras menores)	m2	78.75	\$ 1.58	\$ 124.43
1.2.	530016	Demolición de estructuras de hormigón	m3	0.81	\$ 72.12	\$ 58.06
1.3.	513002	Transporte de materiales hasta 5km	m3	26.00	\$ 1.69	\$ 43.94
1.4.	513004	Transporte de materiales más de 5km	m3/km	421.20	\$ 0.19	\$ 80.03
1.5.	513013	Impuesto de escombrera	m3	26.00	\$ 0.74	\$ 19.24
1.6.	520014	Replanteo y nivelación de áreas	m2	118.00	\$ 1.53	\$ 180.54
Total Obras preliminares						\$ 506.23
2.		Tratamiento preliminar				
2.1.		Canal de ingreso				

2.1.1.	502002	Excavación a mano de suelo sin clasificar de 0 a 2m de profundidad	m3	0.68	\$ 9.94	\$ 6.71
2.1.2.	513001	Cargada de material a mano	m3	0.88	\$ 4.25	\$ 3.73
2.1.3.	513002	Transporte de materiales hasta 5km	m3	0.88	\$ 1.69	\$ 1.48
2.1.4.	513004	Transporte de materiales más de 5km	m3	14.22	\$ 0.19	\$ 2.70
2.1.5	513013	Impuesto de escombrera	m3	0.88	\$ 0.74	\$ 0.65
2.1.6.	508003	Replantillo de Piedra, e=10 cm	m2	1.29	\$ 5.93	\$ 7.65
2.1.7.	506011	Hormigón de replantillo de 140kg/cm2	m3	0.12	\$ 124.36	\$ 14.44
2.1.8.	506050	Hormigón simple de 240kg/cm2	m3	0.30	\$ 154.27	\$ 45.63
2.1.9.	501010	Encofrado recto para estructuras de hormigón visto	m2	2.56	\$ 14.74	\$ 37.73
2.1.10.	506004	Curado de superficie de hormigón con aditivo químico	m2	3.26	\$ 0.63	\$ 2.05
2.1.11.	543082	Preparado y pintado con pintura anticorrosiva	m2	3.26	\$ 3.28	\$ 10.69
2.1.12.	540570	Pintura acrílica impermeabilizante	m2	3.26	\$ 6.14	\$ 20.02
2.1.13.	535101	Sum, Tubería PVC E/C Desagüe D=160 mm	m	24.00	\$ 4.90	\$ 117.60
2.1.14.	509030	Colocación Tubería PVC Alcant. D=160 mm	m	21.19	\$ 0.52	\$ 11.02
2.1.15.	516001	Acero de Refuerzo (Incluye corte y doblado)	Kg	12.78	\$ 2.07	\$ 26.45
Total Canal de ingreso					\$ 282.11	
2.2.		Rejilla				
2.2.1.	540065	Suministro e instalación de rejilla de barras de acero de sección rectangular	m2	0.22	\$ 149.42	\$ 32.87
2.2.2.	506024	Revestimiento epóxico	m2	0.22	\$ 24.31	\$ 5.35
Total Rejilla					\$ 38.22	
2.3.		Desarenador				
2.3.1.	502002	Excavación a mano de suelo sin clasificar de 0 a 2m de profundidad	m3	9.43	\$ 9.94	\$ 93.68
2.3.2.	513001	Cargada de material a mano	m3	12.25	\$ 4.25	\$ 52.07
2.3.3.	513002	Transporte de materiales hasta 5km	m3	12.25	\$ 1.69	\$ 20.71

2.3.4.	513004	Transporte de materiales más de 5km	m3	198.49	\$ 0.19	\$ 37.71
2.3.5.	513013	Impuesto de escombrera	m3	12.25	\$ 0.74	\$ 9.07
2.3.6.	508003	Replantillo de Piedra, e=10 cm	m2	7.25	\$ 5.93	\$ 42.99
2.3.7.	506011	Hormigón de replantillo de 140kg/cm2	m3	0.44	\$ 124.36	\$ 54.10
2.3.8.	506050	Hormigón simple de 240kg/cm2	m3	3.55	\$ 154.27	\$ 548.03
2.3.9.	501010	Encofrado recto para estructuras de hormigón visto	m2	10.48	\$ 14.74	\$ 154.40
2.3.10.	506004	Curado de superficie de hormigón con aditivo químico	m2	11.34	\$ 0.63	\$ 7.14
2.3.11.	543082	Preparado y pintado con pintura anticorrosiva	m2	11.34	\$ 3.28	\$ 37.18
2.3.12.	540570	Pintura acrílica impermeabilizante	m2	11.34	\$ 6.14	\$ 69.60
2.3.13.	540096	Suministro e instalación de compuerta de acero de acción mecánica de 0,30mx0,30m	u	4.00	\$ 190.24	\$ 760.96
2.3.14.	540420	Suministro e instalación de castillo para operación de válvula de compuerta	u	4.00	\$ 79.85	\$ 319.40
2.3.15.	535628	Suministro e instalación de vástago de HG para compuerta	u	4.00	\$ 5.90	\$ 23.60
2.3.16.	535020	Suministro de tubería PVC D=110mm	m	12.00	\$ 2.41	\$ 28.92
2.3.17	540013	Colocación de tubería PVC D=110mm	m	7.80	\$ 0.44	\$ 3.43
2.3.18.	535043	Sum, Codo PVC E/C Desagüe D=110 mm 45 grad.	u	4.00	\$ 3.19	\$ 12.76
2.3.19.	535134	Sum, Codo PVC E/C Desagüe D=110 mm 90 grad.	u	1.00	\$ 2.54	\$ 2.54
2.3.20.	509055	Colocación accesorios PVC D=110mm	u	5.00	\$ 6.17	\$ 30.85
2.3.21	516001	Acero de Refuerzo (Incluye corte y doblado)	Kg	153.46	\$ 2.07	\$ 317.67
Total Desarenador						\$ 2,309.14
2.4.		Vertedero Sutro				
2.4.1.	540160	Suministro e instalación de vertedero (tool galvanizado)	u	2.00	\$ 122.52	\$ 245.04
2.4.2.	506024	Revestimiento epóxico	m2	0.42	\$ 24.31	\$ 10.21

2.5.		Vertedero de excesos			Total Vertedero Sutro	\$ 255.25
2.5.1.	502002	Excavación a mano de suelo sin clasificar de 0 a 2m de profundidad	m3	0.50	\$ 9.94	\$ 4.97
2.5.2.	513001	Cargada de material a mano	m3	0.50	\$ 4.25	\$ 2.13
2.5.3.	513002	Transporte de materiales hasta 5km	m3	0.50	\$ 1.69	\$ 0.85
2.5.4.	513004	Transporte de materiales más de 5km	m3	8.10	\$ 0.19	\$ 1.54
2.5.5.	513013	Impuesto de escombrera	m3	0.50	\$ 0.74	\$ 0.37
2.5.6.	506011	Hormigón de replantillo de 140kg/cm2	m3	0.02	\$ 124.36	\$ 2.80
2.5.7.	506050	Hormigón simple de 240kg/cm2	m3	0.10	\$ 154.27	\$ 15.43
2.5.8.	501010	Encofrado recto para estructuras de hormigón visto	m2	1.10	\$ 14.74	\$ 16.21
2.5.9.	506004	Curado de superficie de hormigón con aditivo químico	m2	1.33	\$ 0.63	\$ 0.84
2.5.10.	543082	Preparado y pintado con pintura anticorrosiva	m2	1.33	\$ 3.28	\$ 4.36
2.5.11.	540570	Pintura acrílica impermeabilizante	m2	1.33	\$ 6.14	\$ 8.17
2.5.12.	509206	Sum, Tubería PVC U/E 1,00 MPA D= 160 mm	m	42.00	\$ 12.47	\$ 523.74
2.5.13.	509030	Colocación Tubería PVC Alcant. D=160 mm	m	40.00	\$ 0.52	\$ 20.80
2.5.14.	535A0K	Sum, Codo PVC E/C Desagüe D=160 mm 45 grad.	u	4.00	\$ 9.76	\$ 39.04
2.5.15.	509094	Colocación Acc PVC E/C sin anclajes, D=160 mm	u	5.00	\$ 7.48	\$ 37.40
2.5.16.	514004	Relleno compactado con material liviano	m3	6.00	\$ 4.08	\$ 26.72
Total Vertedero de excesos						\$ 678.63
Total Tratamiento preliminar						\$ 3,563.36
3.		Tratamiento primario				
3.1.		Fosa Séptica				
3.1.1.	535020	Suministro de tubería PVC D=110mm	m	6.00	\$ 2.41	\$ 14.46
3.1.2.	540013	Colocación de tubería PVC D=110mm	m	4.00	\$ 0.44	\$ 1.76

3.1.3.	535135	Sum, Tee PVC Desagüe Pegable D=110 mm	u	2.00	\$ 3.87	\$ 7.74
3.1.4.	535134	Sum, Codo PVC E/C Desagüe D=110 mm 90 grad,	u	2.00	\$ 2.54	\$ 5.08
3.1.5.	509055	Colocación accesorios PVC D=110mm	u	4.00	\$ 6.17	\$ 24.68
3.1.6.						
Total Fosa séptica						\$ 53.72
Total Tratamiento primario						\$ 53.72
4.		Tratamiento secundario				
4.1.		Filtro anaerobio				
4.1.1.	535020	Suministro de tubería PVC D=110mm	m	6.00	\$ 2.41	\$ 14.46
4.1.2.	540013	Colocación de tubería PVC D=110mm	m	4.00	\$ 0.44	\$ 1.76
4.1.3.	535135	Sum, Tee PVC Desagüe Pegable D=110 mm	u	4.00	\$ 3.87	\$ 15.48
4.1.4.	535610	Sum, Tee PVC Desagüe Pegable D=160 x 110 mm	u	1.00	\$ 13.58	\$ 13.58
4.1.5.	509055	Colocación accesorios PVC D=110mm	u	7.00	\$ 6.17	\$ 43.19
4.1.6.	535136	Sum, Tapon PVC Desagüe D=110 mm	u	4.00	\$ 1.26	\$ 5.04
4.1.7.	506050	Hormigón simple de 240kg/cm ²	m3	1.23	\$ 154.27	\$ 188.98
4.1.8.	598010	Sum. Inst. Escalera marinera acero inoxidable D=50mm, escalones d=32mm	m	1.75	\$ 86.21	\$ 150.87
4.1.9.	540005	Sum,-Ins, Tapa metalica	m2	0.70	\$ 120.48	\$ 84.34
4.1.10.	501004	Encofrado Tapa Tanque circular	m2	0.70	\$ 21.16	\$ 14.81
4.1.11.	540192	Sum,-Ins, Baldosa	m2	1.44	\$ 25.45	\$ 36.65
4.1.12.	540264	Sum, y colocacion Grava graduada de 6 a 38 mm,	m3	28.68	\$ 93.47	\$ 2,680.76
4.1.13.	509030	Colocacion Tuberia PVC Alcant. D=160 mm	m	2.15	\$ 0.52	\$ 1.12
4.1.14.	540320	Retiro de material filtrante y de soporte	m3	33.09	\$ 46.67	\$ 1,544.44
Total Filtro anaerobio						\$ 4,795.47

Total Tratamiento secundario						\$ 4,795.47
5.		Tratamiento terciario				
5.1.		Tanque de cloración				
5.1.1.	502002	Excavación a mano de suelo sin clasificar de 0 a 2m de profundidad	m3	9.80	\$ 9.94	\$ 97.42
5.1.2.	506050	Hormigón simple de 240kg/cm2	m3	2.53	\$ 154.27	\$ 390.87
5.1.3.	508001	Replantillo de Piedra, e=15 cm	m2	4.46	\$ 6.89	\$ 30.69
5.1.4.	589074	Sum. e inst. de analizador de cloro residual - dosificador automatico de cloro gas conforme especificaciones adjuntas. Incluye parametrización y programación.	u	1.00	\$ 3,369.07	\$ 3,369.07
5.1.5.	506011	Hormigón de replantillo de 140kg/cm2	m3	0.20	\$ 124.36	\$ 24.93
5.1.6.	501010	Encofrado recto para estructuras de hormigón visto	m2	1.56	\$ 14.74	\$ 22.99
5.1.7.	506004	Curado de superficie de hormigón con aditivo químico	m2	11.00	\$ 0.63	\$ 6.93
5.1.8.	543082	Preparado y pintado con pintura anticorrosiva	m2	11.00	\$ 3.28	\$ 36.08
5.1.9.	540570	Pintura acrílica impermeabilizante	m2	11.00	\$ 6.14	\$ 67.54
5.1.10.	535020	Suministro de tubería PVC D=110mm	m	24.00	\$ 2.41	\$ 57.84
5.1.11.	540013	Colocación de tubería PVC D=110mm	m	19.66	\$ 0.44	\$ 8.65
5.1.12.	535043	Sum, Codo PVC E/C Desagüe D=110 mm 45 grad,	u	4.00	\$ 3.19	\$ 12.76
5.1.13.	516001	Acero de Refuerzo (Incluye corte y doblado)	Kg	109.45	\$ 2.07	\$ 226.57
5.1.14.						
Total tanque de cloración						\$ 4,310.29
Total Tratamiento terciario						\$ 4,310.29
6.		Tratamiento de lodos				
6.1.		Lecho de secado				
6.1.1.	506050	Hormigón simple de 240kg/cm2	m3	11.39	\$ 154.27	\$ 1,756.83
6.1.2.	501010	Encofrado recto para estructuras de hormigón visto	m2	55.92	\$ 14.74	\$ 824.26

6.1.3.	506004	Curado de superficie de hormigón con aditivo químico	m2	55.92	\$ 0.63	\$ 35.23
6.1.4.	543082	Preparado y pintado con pintura anticorrosiva	m2	55.92	\$ 3.28	\$ 183.42
6.1.5.	540570	Pintura acrílica impermeabilizante	m2	55.92	\$ 6.14	\$ 343.35
6.1.6.	522087	Suministro y Colocación de ladrillo semi industrial de 30 x 30	m2	24.00	\$ 25.14	\$ 603.36
6.1.7.	535020	Suministro de tubería PVC D=110mm	m	18.00	\$ 2.41	\$ 43.38
6.1.8.	540013	Colocación de tubería PVC D=110mm	m	16.02	\$ 0.44	\$ 7.05
6.1.9.	535043	Sum, Codo PVC E/C Desagüe D=110 mm 45 grad,	u	4.00	\$ 3.19	\$ 12.76
6.1.10.	535134	Sum, Codo PVC E/C Desagüe D=110 mm 90 grad,	u	1.00	\$ 2.54	\$ 2.54
6.1.11.	509055	Colocación accesorios PVC D=110mm	u	5.00	\$ 6.17	\$ 30.85
6.1.12.	540264	Sum, y colocación Grava graduada de 6 a 38 mm,	m3	2.70	\$ 93.47	\$ 252.37
6.1.13.	540265	Sum, y colocación Grava graduada de 3 a 6 mm,	m3	2.70	\$ 99.37	\$ 268.30
6.1.14.	540593	Sum, y colocación Grava graduada de 38 a 76 mm	m3	2.70	\$ 87.57	\$ 236.44
6.1.15.	535716	Colocación Arena para filtro	m3	2.70	\$ 14.21	\$ 38.37
6.1.16.	516001	Acero de Refuerzo (Incluye corte y doblado)	Kg	491.96	\$ 2.07	\$ 1,018.36
Total Lecho de secado						\$ 4,638.50
Total Tratamiento de lodos						\$ 4,638.50
TOTAL COSTOS DIRECTOS						\$ 15,049.38
COSTOS INDIRECTOS				18%	\$ 2,708.89	
PRESUPUESTO TOTAL						\$ 17,758.27

Capítulo 7 – MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

7.1. Manual de operación y mantenimiento

El presente manual tiene como finalidad brindar los conocimientos adecuados para el correcto funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales El Chorro. Garantizando un efluente dentro de los límites permitidos y exigidos por la autoridad competente, preservando la infraestructura hidráulica de la PTAR.

De esta manera, el personal técnico encargado podrá realizar las actividades de manera preventiva, siguiendo rutas de trabajo, fechas y frecuencia de mantenimiento establecidos. Para lo cual, se debe contar con materiales e instrumentos necesarios para disminuir el riesgo de los operadores.

Las bases de partida con que se debe contar, para efectuar los oportunos programas de control y seguimiento de los equipos y estructuras hidráulicas son básicamente:

- Personal técnico calificado.
- Manual de operación y mantenimiento.
- Etapas de Tratamiento
- Pretratamiento

Las estructuras hidráulicas que forman parte del pretratamiento tendrán que seguir una inspección visual semanalmente o en ciertos casos quincenal.

7.1.1. Canal de entrada

El agua residual cruda, procedente de la red de alcantarillado conjuga aguas negras, grises y blancas hacia el final de su recorrido en una tubería PVC 160 mm, posterior a esto, el canal (abierto) de entrada a través de su transición apacigua la perdida de energía cinética.

A continuación, se presenta los requisitos mínimos de operación y mantenimiento:

- Realizar la inspección cada semana.
- Limpieza del canal de entrada mediante la manipulación de una pala, preferentemente cuadrada para retirar cualquier depósito de material. El material extraído extenderlo en lecho de secado.
- Observación y evaluación del desgaste en las paredes del canal a través de una agenda periódica.

7.1.2. Rejilla de Entrada

El agua residual doméstica es previamente cribada al pasar por una rejilla estática con una abertura de 2.5 cm, en este punto los objetos con un ancho superior al espaciamiento entre los barrotes quedaran retenidos.

- Realizar la inspección cada semana.
- Realizar una limpieza manual mediante un peine de cerdas metálicas, y recolectar todos los residuos en una charola ubicada en la parte superior del canal.
- Debido a la corrosión generada por el agua residual al pasar por la rejilla, se debe colocar pintura anticorrosiva por lo menos una vez al año. Esto ayudará alargar la vida útil de estas estructuras.
- Los residuos alojados en la base de la rejilla, serán recolectados mediante una pala de forma cuadrada y posteriormente depositados en un contenedor apto para su disposición final para así evitar la disminución del ancho efectivo entre barrotes.

7.1.3. Desarenador

El tanque desarenador acumula en su mayoría arena y partículas sedimentables, por lo que se deberá:

- Realizar la inspección cada quince días.
- Si se desea dar mantenimiento a una de las cámaras de sedimentación, es necesario cerrar las compuertas tanto al inicio como al final del tramo y mantener abierta la compuerta de la cámara restante. Realizar el mismo proceso para la otra cámara. Se recomienda realizar este proceso entre las 8:00 AM - 9:00 AM, debido a que, a esas horas se tiene menores picos de caudal.
- Se cuenta con una válvula de compuerta para realizar una limpieza hidráulica, evacuando los depósitos de arena del agua residual. La misma se conectará a una bomba de succión para dirigir dichos depósitos al lecho de secado ubicado junto al desarenador.
- Los residuos, en su mayoría supuestos elementos inorgánicos serán trasladados al contenedor de recolección y este a su vez a un relleno sanitario.
- Finalmente, el operador llevará en su registro el aspecto y los por menores en el que se encuentra el tanque desarenador.

7.1.4. Medidor de Caudal

- El vertedero proporcional Sutro carece de un mantenimiento a menudo, sin embargo, es necesario:
- Evaluar el estado de la placa de acero verificando que la relación carga- caudal se siga manteniendo.
- En el caso de que exista alguna obstrucción o la presencia de algún objeto adherido a la placa de acero, este tendrá que ser retirado por la parte superior del canal. Se puede evitar el paso del agua residual con las compuertas mencionadas en las cámaras de desarenado.

7.1.5. Tratamiento Primario

7.1.5.1. Fosa Séptica

El tanque séptico cuenta con un sistema de cámaras de revisión ubicadas en la parte superior del tanque, también llamados tapas de inspección.

- Ventilar el área de trabajo por 10 minutos abriendo las tapas de inspección, suponer la presencia de gases tóxicos, además, de olores picantes y desagradables. Nota. No encender fuego.
- Realizar la inspección de la cámara 1 hasta la cámara 3, verificando que el nivel del agua residual está en los límites permitidos.
- Medir el nivel de lodos de las cámaras, en caso que el nivel de lodos se encuentre por encima de la altura de lodos permitida ($>40\%$ del volumen de la fosa), será necesario un vaciado parcial para volver a tener niveles adecuados de lodo.
- Ante un inminente vaciado, será necesario derivar el caudal de agua residual cruda hacia el by pass, por medio de un sistema de tuberías conectadas a la tubería de salida del desarenador.
- Registrar y notificar cualquier novedad en caso de taponamientos o fisuras en su estructura.
- Tapar las tapas de inspección, precautelando la hermeticidad del tanque.

Medición de niveles de Lodos

La obtención del nivel de lodos, es una medida que permite conocer la capacidad volumétrica de la fosa séptica, además de ser un indicativo de la periodicidad en cuanto al mantenimiento y limpieza de la fosa, generalmente se recomienda trimestralmente (Salazar, 2017). Siguiendo los pasos indicados:

- El personal capacitado deberá contar con el equipo de protección personal (EPP) al igual que las herramientas previstas.
- Ventilar el área de trabajo por 10 minutos abriendo las tapas de inspección, suponer la presencia de gases tóxicos, además, de olores picantes y desagradables. Nota. No encender fuego.
- Medir el nivel de lodos, utilizar una regleta de PVC con una altura conocida (3.5 m) forrada de un paño o tela, la longitud del paño corresponde a la altura de lodos del tanque séptico, entregado por el diseñador.
- Sumergir la regleta perpendicularmente hasta alcanzar el fondo del tanque.
- Permanecer por 30 segundos y retirar cuidadosamente ya que las partículas del lodo quedaran adheridas al paño.
- Medir con un flexómetro de bolsillo la longitud manchada en el paño.
- Registrar la fecha y lecturas del nivel de lodo en cada compartimiento de inspección.
- Tapar las tapas de inspección, precautelando el correcto sellado.

Remoción de espumas y natas

La generación de subproductos como la espuma y nata, son el resultado de reacciones principalmente de grasas, aceites y burbujas de gas durante el proceso de descomposición.

- Al retirar estos subproductos, mejoramos y evitamos taponamientos en el tren de tratamiento de aguas residuales. Se recomienda realizar la inspección una vez al mes, sin embargo, ante aguas residuales con un bajo o alto contenido de grasas y materia orgánica el tiempo podría aumentar o disminuir respectivamente.
- El personal capacitado deberá contar con el equipo de protección personal al igual que las herramientas previstas.
- Ventilar el área de trabajo por 10 minutos abriendo las tapas de inspección, suponer la presencia de gases tóxicos, además, de olores picantes y desagradables. Nota. No encender fuego.
- El espesor de la capa de natas se mide con un listón de madera en cuyo extremo lleve fijada una aleta articulada. El listón se fuerza a través de la capa de nata en donde la aleta se desplazará a la posición horizontal. Al levantar el listón suavemente se podrá determinar el espesor de la misma.(OPS, 2005b)
- Retirar la espuma y natas que estén flotando sobre el agua con un cerníadero de malla fina de plástico o madera.

- Depositar la espuma en el lecho de secado o a su vez en un agujero de 60 cm de profundidad cuidando que no se encuentre el nivel freático.(Ministerio del Agua, 2007)
- Tapar las tapas de inspección, precautelando el correcto sellado.

Control de olores

El control de olores en la cámara séptica se hará siguiendo los siguientes pasos:

- Preparar agua con cal, por cada diez litros de agua, agregamos media libra de cal. Homogenizamos y dejamos reposar por un periodo de cinco minutos.
- Adicionar la mezcla preparada a la entrada de la fosa séptica, poco a poco aproximadamente una caneca de cinco galones (20 litros) en un lapso de 30 minutos.
- Si el olor persiste, repetir el procedimiento un día después.(Ministerio del Agua, 2007)

7.1.6. Tratamiento Secundario

7.1.6.1. *Filtro Anaerobio*

El correcto funcionamiento del sistema biológico depende del lecho filtrante con una gran superficie de contacto hasta salir con características aceptables en concentración de materia orgánica.

El material del lecho filtrante será de grava. Debe encontrarse limpio de material fino como arcilla o limo. A continuación, se presenta las características que se tiene que controlar en un filtro anaerobio:(Ministerio del Agua, 2007)

- El personal capacitado deberá contar con el equipo de protección personal al igual que las herramientas previstas.
- Ventilar el área de trabajo por 10 minutos abriendo las tapas de inspección, suponer la presencia de gases tóxicos. Nota. No encender fuego.
- Realizar la evaluación de la cámara de inspección, verificando que el nivel del agua residual está en los límites permitidos.
- Para vaciar el tanque del filtro anaerobio se deriva el afluente mediante un sistema de tuberías a la caja de salida de la PTAR.
- Durante la limpieza de las paredes del reactor, es necesario precautelar parte de la película biológica dentro del filtro para de esta manera, no tener que volver a poner en marcha al filtro biológico.
- En caso de persistir un incremento desmedido en la turbidez del agua residual, se recomienda el cambio del medio filtrante.(Chiriboga Sisalema, 2016)
- Registrar la fecha, parámetros de turbidez y el tipo de lavado en cada inspección.

- Limpiar quincenalmente la cámara de salida, con el objetivo de evitar el desarrollo de focos de infección.
- Tapar las tapas de inspección, precautelando el correcto sellado.
- Debe comprobarse el correcto funcionamiento de las unidades; de no ser así, es responsabilidad del constructor efectuar las correcciones necesarias.

Puesta en Marcha

El Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente es comúnmente utilizado como alternativa en pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales debido a sus resultados junto a la fosa séptica. El proceso biológico dentro del filtro anaerobio es de vital importancia, tarda alrededor de seis meses en conseguir estabilizarse para operar en óptimas condiciones.

7.1.7. Tratamiento Terciario

7.1.7.1. *Tanques de Cloración*

El afluente de entrada al tanque de cloración contendrá ciertos microrganismos, además, de una pequeña cantidad de materia orgánica prevista en los límites permitidos. El mantenimiento para esta etapa de tratamiento será conforme a lo establecido:

- El personal capacitado deberá contar con el equipo de protección personal al igual que las herramientas previstas.
- Evaluar tanto la tubería de entrada como la de salida.
- Evaluar el estado del tanque, observando grieta o fisuras estructurales
- Evaluar el estado del difusor de desinfectante.
- Registrar la fecha, parámetros como cloro residual, concentración de patógenos, DBO y lecturas del nivel de agua en cada corredor.

La operación del tanque de cloración tendrá que cumplir con los siguientes lineamientos:

- El difusor de desinfectante debe funcionar de manera adecuada, dosificando acorde al diseño y límites normados en la calidad del vertido sobre fuentes superficiales de agua dulce.
- No debe presentar grietas o fisuras que comprometa el libre funcionamiento.
- En caso de filtraciones menores, se podrá impermeabilizar la zona según el criterio del constructor o ente regulador.

- Comprobar que no exista taponamiento o la presencia de alguna rotura en las tuberías de ingreso y salida.

7.1.8. Tratamiento de Lodos

7.1.8.1. *Lecho de secado*

El lodo proveniente del tratamiento primario y secundario tendrá que ser depositado en las estructuras de control correspondiente. Es de importancia que, los lodos a descargar tengan un proceso previo de estabilización y acondicionamiento, de esta manera evitaremos generar un incremento en olores desagradables, en su desinfección y deshidratación.

- El operador deberá contar con el equipo de protección personal al igual que las herramientas previstas.
- La extracción de lodos será mediante una pala y carretilla, desde los tanques primario y secundario hacia el lecho de secado.
- Los lodos provenientes del tratamiento primario serán ubicados en la parte superior, mientras que los lodos secundarios se ubicarán en la sección inferior de la cama de lodos.
- Mientras que los residuos provenientes del tratamiento preliminar serán esparcidos a lo largo de toda la superficie superior del lecho de secado. Cada semana.
- Los lechos de secado deben llenarse con lodos durante la temporada seca del año. Generando una profundidad de capa de hasta 40 cm.
- Una vez que su humedad haya disminuido al grado de ser manipulado con una pala, podrán ser retirados. Cuidando de no añadir más lodos antes de haber retirado la sección seca.
- La limpieza del lecho de secado será dispuesta en su totalidad una vez haya sido retirado los lodos.
- Agregar cal hidratada al lodo para disposición final, por cada carretilla de lodo se agrega 1 kg de cal hidratada. Mientras que, para lodos secundarios se adiciona 25 kg de cal hidratada, de esta manera evitaremos la activación sobre la biomasa, evitando producir un crecimiento bacteriano.(Salazar, 2017)
- Se deberá reacomodar una vez por semana el lodo primario y secundario mediante un rastrillo metálico
- Una vez concluida la tarea, el operador deberá lavarse y desinfectarse al igual que su equipo de trabajo.
- Registrar la fecha, tipos de actividades y observaciones en el formulario de control.

Cabe mencionar que, parte del proceso de operación y mantenimiento rutinario será empacar y reubicar los lodos deshidratados hasta el relleno sanitario correspondiente. Además, de evaluar y analizar el estado del tanque.

Tabla 53

Resumen de las actividades en la operación y mantenimiento de la PTAR El Chorro

Etapa de Tratamiento	Actividades		Encargado	Materiales y Equipos	Frecuencia	Duración
Preliminar	Limpieza del canal de entrada		Operador/peón	EPP, pala, cepillo, balde	Semanal	60 min
	Limpieza de la rejilla		Operador	EPP, rastrillo, balde	Semanal	20 min
	Inspección del desarenador		Operador/peón	EPP, pala cuadrada, balde, carretilla	Quincenal	20 min
	Limpieza del medidor de Caudal		Operador	EPP, cepillo	Semanal	20 min
Primario	Tanque Séptico	Medición de niveles de lodos	Operador	EPP, cinta métrica, regleta, paño	Trimestral	20 min
		Remoción de espumas y natas	Operador/peón	Cerníadero, balde, carretilla	Mensual	45 min
		Extracción de lodos	Operador/ 2 peones	EPP, bomba o polea, baldes, pala	Anual	240 min
		Limpieza de cámaras	Operador/ 2 peones	EPP, pala, carretilla	Semanal	60 min
Secundario	FAFD	Limpieza de la tubería de entrada y salida	Operador	EPP, malla, varilla, balde	Trimestral	30 min
		Limpieza del lecho filtrante sin retirar el material	Operador	EPP, manguera, pala, balde, carretilla.	Semestral	45 min
Terciario	Tanque de Cloración	Limpieza de la tubería de salida	Operador	EPP, cepillo	Quincenal	30 min
		Limpieza del difusor de desinfectante	Operador	EPP, cepillo	Mensual	30 min
Manejo de lodos	Lecho de Secado	Remover el lodo antiguo	Operador/peón	EPP, Pala, sacos	Mensual	120 min
		Escarificación y acomodo de lodos superficiales	Operador	EPP, rastrillo, pala, cal	Semanal	30 min
		Reemplazo de áridos	Operador/peón	EPP, áridos	Semestral	60 min

8. Conclusiones y Recomendaciones

La gestión adecuada de las aguas residuales es de vital importancia para mitigar la contaminación ambiental y prevenir la propagación de enfermedades infecciosas. Las plantas de tratamiento de aguas residuales desempeñan un papel esencial en el proceso de tratamiento y depuración del agua residual antes de su reintroducción al medio ambiente. Por lo tanto, es fundamental invertir en la construcción, operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales descentralizadas como parte de una estrategia integral de gestión de aguas residuales en la ruralidad del Ecuador.

Se ha observado que, a lo largo de los años, las PTAR ejecutadas y administradas por ETAPA han experimentado un deterioro en su eficiencia de remoción de contaminantes. En el caso de la PTAR El Chorro, puede ser atribuido a diversas razones, como la falta de mantenimiento adecuado, la ausencia de un tratamiento preliminar y terciario, y la entrada de aguas ilícitas y de infiltración. Por lo tanto, es crucial realizar evaluaciones periódicas de las PTAR existentes, identificar los problemas que afectan su desempeño y proponer soluciones efectivas para mejorar el saneamiento rural en la región de manera sostenible.

Entre las puntuaciones importantes a mencionar dentro de la propuesta de rediseño, es necesario destacar que, esta debe complementarse con estudios geotécnicos y estructurales previos a la construcción de las unidades de tratamiento. En el reactor anaerobio, se utiliza un medio filtrante compuesto por grava debido a la disponibilidad de este material. No obstante, es posible reemplazarlo por otro material que cumpla con características como porosidad, superficie específica grande, durabilidad, peso específico menor al de la grava, inercia química y granulometría adecuada.

La elaboración del manual de operación y mantenimiento desarrollado en el capítulo 7, fue concebido como un aporte al manejo de la planta. El mismo es una adaptación de la guía para la operación y mantenimiento de la OPS, así como aportes realizados en manuales de operación y mantenimiento de plantas de tratamiento gestionadas en la región. Se pretende que, este manual sea aplicado y goce de un seguimiento riguroso con el objetivo de precautelar el correcto funcionamiento de cada una de los procesos y operaciones unitarios del tren de tratamiento seleccionado para la PTAR El Chorro.

9. Referencias

- Alvarado, A., Larriva, J., Sánchez, E., Idrovo, D., & Cisneros, J. F. (2017). Assessment of decentralized wastewater treatment systems in the rural area of Cuenca, Ecuador. *Water Practice and Technology*, 12(1), 240–249. <https://doi.org/10.2166/wpt.2017.027>
- Andreoli, C. V., Von Sperling, M., & Fernandes, F. (2007). *Sludge treatment and disposal*. IWA publ.
- Butler, R., & MacCormick, T. (1995). *Opportunities for decentralized treatment, sewer mining and effluent re-use*. 11.
- Chiriboga Sisalema, I. (2016). *EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES “UBILLUS”, EN LA PARROQUIA PINTAG E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRADO*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.
- Chow, V. T. (1959). *Hidráulica de canales abiertos* (1era edición). McGraw-Hill.
- Cisneros, F. (2021). *Diseño Hidráulico I* (Primera Edición). Universidad de Cuenca.
- Ecuador. (2008, octubre 20). Constitución de la República del Ecuador [Registro Oficial 449]. https://www.defensa.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Constitucion-de-la-Republica-del-Ecuador_act_ene-2021.pdf
- ETAPA EP. (2023). *Planta de tratamiento de aguas residuales Ucubamba*. <https://www.etapa.net.ec/informacion/saneamiento/plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-ucubamba>
- GAD Parroquial Santa Ana. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del GAD Parroquia de Santa Ana 2019-2023*. https://www.santana.gob.ec/images/PDOT_SANTA_ANA_2019-2023-comprimido.pdf
- Guía desarenadores y sedimentadores. (2005). OPS/ CEPIS.
- INEC, & UNICEF. (2019, 2022). *Datos proporcionados en un informe conjunto del INEC y UNICEF*.
- INEC, & UNICEF. (2020, 2021). *Medición de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en Ecuador: Un informe conjunto del INEC y UNICEF*.
- Jarrín, M. (2014). *BASES PARA EL DISEÑO HIDRÁULICO DE TRANSICIONES EN FLUJO SUBCRÍTICO Y SUPERCRÍTICO* [Universidad Central Del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2969/1/T-UCE-0011-145.pdf>
- Massoud, M. A., Tarhini, A., & Nasr, J. A. (2009). Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. *Journal of Environmental Management*, 90(1), 652–659. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.001>
- Metcalf & Eddy (Ed.). (1991). *Wastewater engineering: Treatment, disposal, and reuse* (3rd ed). McGraw-Hill.

- Metcalf & Eddy. (1995). *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido, y reutilización* (3a ed). McGraw-Hill.
- Ministerio del Agua. (2007). *Manual de Operación y Mantenimiento de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en Poblaciones Rurales*. ABBASE LTDA.
- Ministerio del Ambiente. (2015). Registro Oficial No. 387.
- Código Orgánico del Ambiente, (2018).
- Monroy, M. A. L. (2010). *MEDIDORES DE FLUJO EN CANALES ABIERTOS* [UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA].
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3165_C.pdf
- Noyola, A., Morga-Sagastume, J. M., & Güereca, L. P. (2013). *Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales* (1ra ed.). Universidad Nacional Autónoma de México.
- OMS & UNICEF. (2021). *Estado mundial del saneamiento*. OMS.
<https://apps.who.int/iris/handle/10665/342012>
- OMS, & UNICEF. (2022). *Progresos en materia de agua para consumo, saneamiento e higiene en los hogares 2000-2020: Cinco años después de la adopción de los ODS*.
- OPS. (2005a). *Guía para el diseño de tanques sépticos*. OPS.
- OPS. (2005b). *GUÍA PARA LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE TANQUES SÉPTICOS, TANQUES IMHOFF Y LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN*. OPS.
- Ordóñez, G. (2008). *Diagnóstico y evaluación preliminar de los sistemas de depuración de agua residual que sirven a centros parroquiales y caseríos en el cantón Cuenca*. ETAPA EP.
- Qasim, S. R., & Zhu, G. (2018). *Wastewater treatment and reuse: Theory and design examples. volume 1: Principles and basic treatment*. CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Rivas Mijares, G. (1978). *Tratamiento de aguas residuales* (2a ed., actualizada y aumentada). Ediciones Vega.
- Romero Rojas, J. A. (2000). *Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño* (1ra edición). Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Salazar, J. M. V. (2017). *MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES UBILLUS*. ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.
- Sinnatamby, G. S., & Mara. (1986). *Rational design of septic tanks in warm climates*.
<https://www.ircwash.org/sites/default/files/323.2-3921.pdf>
- Sotelo Ávila, G. (1994). *Hidráulica general* (1a ed, Vol. 1). Limusa.
- Sotelo Ávila, G. (2002). *Hidráulica de canales*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.
- Sperling, M. von. (2007a). *Basic principles of wastewater treatment*. IWA Publ. [u.a.].

- Sperling, M. von. (2007b). *Wastewater characteristics, treatment and disposal*. IWA Publ. [u.a.].
- TULSMA. (2018). *TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACION SECUNDARIA-DE MEDIO AMBIENTE* (Edición Especial 2).
- Código Ecuatoriano de la Construcción. *diseño de instalaciones sanitarias* (parte 9; p. 50). (1997). inen.
- emaap-q. (2009). *normas de diseño de sistemas de alcantarillado para la emAAP-q*. empresa metropolitana de alcantarillado y agua potable.

10. Apéndice

10.1. Caudales de diseño

10.1.1. Método Geométrico

$$r_p = \left(\frac{P_{n+1}}{P_n} \right)^{1/n} - 1 \quad (40)$$

$$r = \frac{r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n}{n} \quad (41)$$

Donde:

P_{n+1} : población en el año $n + 1$ (hab)

P_n : población en el año n (hab)

r_p : tasa de crecimiento promedio (%)

r : tasa de crecimiento en el periodo considerado

r_n : tasa de crecimiento en el año n (%)

t : periodo de tiempo considerado (años)

n : número de años considerados (años)

10.1.2. Dotación

Tabla 54

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

Adaptado de: CEC

Tabla 55

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

Nivel de servicio	Sistema	Descripción
Ia	AP	Grifos públicos
	EE	Letrinas sin arrastre de agua
Ib	AP	Grifos públicos más unidades de agua para lavado de ropa y baño
	EE	Letrinas sin arrastre de agua
IIa	AP	Conexiones domiciliarias, con un grifo por casa

Nivel de servicio	Sistema	Descripción
	EE	Letrinas con o sin arrastre de agua
IIb	AP	Conexiones domiciliarias, con más de un grifo por casa
	ERL	Sistema de alcantarillado sanitario

Adaptado de: Código Ecuatoriano de la Construcción. CEC

Simbología:

AP: Agua Potable

EE: Eliminación de excretas

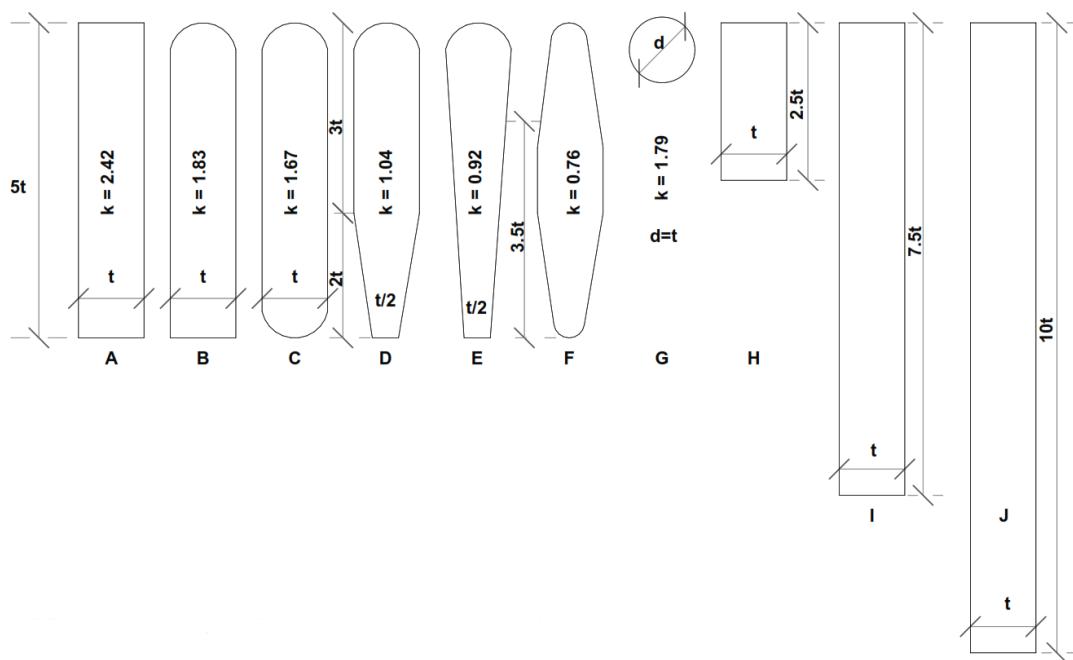
ERL: Eliminación de residuos líquidos

10.2. Tratamiento Preliminar

10.2.1. Rejilla

Figura 32

Coeficiente de forma de los barrotes



Nota. Adaptado de *Hidráulica General* (p. 299), por (Sotelo, 1994), Editorial Limusa.

10.2.2. Control de flujo

$$\bar{h} = \frac{1}{L} \cdot \int_0^L (y - w) \cdot dx \approx \frac{1}{L} \cdot \sum (y_m - w) \cdot \Delta x \approx 0.5 \cdot (y_1 + y_2) - w \quad (42)$$

y_m es el tirante medio en el tramo Δx .

$$y_m = 0.5 \cdot (y_1 + y_2) \quad (43)$$

$$\phi_M\left(\frac{y}{E}\right) = \frac{2 - 3 \cdot \left(\frac{w}{E}\right)}{1 - \frac{w}{E}} \cdot \sqrt{\frac{1 - \frac{y}{E}}{\frac{y}{E} - \frac{w}{E}}} - 3 \cdot \sin^{-1} \sqrt{\frac{1 - \frac{y}{E}}{1 - \frac{w}{E}}} \quad (44)$$

w es la altura de la cresta respecto del fondo del canal.
y es el tirante hidráulico

$$\phi_S\left(\frac{y}{E}\right) = \left(\frac{\left(13 - 15 \cdot \frac{w}{E}\right) \cdot w}{1 - \frac{w}{E}} - 5 \cdot \frac{y}{E} \right) \cdot \sqrt{\frac{1 - \frac{y}{E}}{\frac{y}{E} - \frac{w}{E}}} + \frac{3}{2} \cdot \left(5 \cdot \frac{w}{E} - 1 \right) \\ \cdot \sin^{-1} \left(\frac{2 \cdot \frac{y}{E} - \left(1 + \frac{w}{E}\right)}{1 - \frac{w}{E}} \right) \quad (45)$$

10.2.3. Desarenador

$$\text{Fuerza gravitatoria} = (\rho_s - \rho_L) \cdot gV$$

Donde:

$$\rho_s = \text{densidad de la partícula.} \quad (46)$$

$$\rho_L = \text{densidad del fluido.}$$

$$g = \text{aceleración de la gravedad.}$$

$$V = \text{volumen de la partícula.}$$

$$\text{Fuerza de arrastre por fricción} = \frac{C_D \cdot A \cdot \rho_L \cdot v^2}{2}$$

Donde:

$$C_D = \text{Coeficiente de arrastre.} \quad (47)$$

$$A = \text{área transversal al flujo.}$$

$$v = \text{velocidad de la partícula}$$

Tabla 56

Comprobación de los criterios de diseño de un desarenador

#	Parámetro	Cantidad	Valor adoptado	Unidades	Condición	Observación
1	Periodo de diseño	[8-16]	15	años	CUMPLE	Según la importancia en Riesgo, Económica, Ambiental, etc.
2	Número mínimo de unidades	1	2	u	CUMPLE	Sistema con caudales pequeños y turbiedades bajas.
		2		u		Sistema en paralelo
3	Periodo de operación	24	24	horas	CUMPLE	
4	Existencia de una Transición entre el canal o tubería de llegada al desarenador	SI	SI		CUMPLE	Garantiza uniformidad de la velocidad en la zona de entrada
5	Angulo de Transición	12.5	12.4	grados	CUMPLE	
6	Velocidad de Salida	<1		m/s		Se proyecta una menor turbulencia y arrastre de material
7	Angulo del flujo de llegada	<90		grados		La llegada del flujo de agua no debe proyectarse en curva pues produce velocidades altas en los lados de la cámara
8	Relación Largo/Ancho	[10-20]	10.00		CUMPLE	
9	Régimen Laminar	Re<1	4.561756206			La sedimentación de arena fina ($d<0.01$ cm) se efectúa de forma más eficiente.
	Régimen Transición	$1 < Re < 2000$			TRANSICIÓN	La sedimentación se efectúa de forma más eficiente.
	Régimen Turbulento	$Re > 2000$				La sedimentación se efectúa de forma más eficiente.
10	Descarga de Flujo	SI	SI		CUMPLE	La descarga del flujo puede ser controlada a través de dispositivos como vertederos (sutro) o canales Parshall (garganta)

10.3. Tratamiento Primario

Tabla 57

Comprobación de los criterios de diseño de un tanque séptico

Parámetro	Cantidad	Unidades	Observación
Tiempo mínimo de retención Hidráulica	0.2	días	th>0.2 días
Volumen mínimo de natas	0.7	m3	Según Guía de diseño > 0.7 m3
Profundidad máxima de espuma sumergida	0.02	m	Vol./Área Sup.
Profundidad libre de espuma sumergida	0.1	m	Valor mínimo de 10 cm
Profundidad libre de lodo	0.81	m	Vol. Iodos/ Área Sup.
Profundidad mínima requerida para la sedimentación	0.72	m	Vol. Sed/ Área Sup.
Profundidad de espacio libre	0.3	m	Espacio Libre> 0.3 m
Profundidad neta del tanque séptico	1.93	m3	Menor al volumen total construible

10.4. Tratamiento Secundario

Ecuaciones complementarias en la determinación de la altura del medio filtrante.

$$V_{empaque} = h_{empaquetado} \cdot A_{area_superficial} \quad (48)$$

$$H = h_{empaquetado} + b + d$$

Donde:

H: altura neta total del filtro, en m. (49)

b: altura del borde libre, en m (>30 cm)

d: altura del bajo dren, en m (> 50 cm)

11. Anexos

Anexo A: Conformación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales: vista en planta y vista en perfil.

Anexo B: Detallamiento de estructuras de tratamiento preliminar: canal de entrada, desarenador, vertedero de excesos.

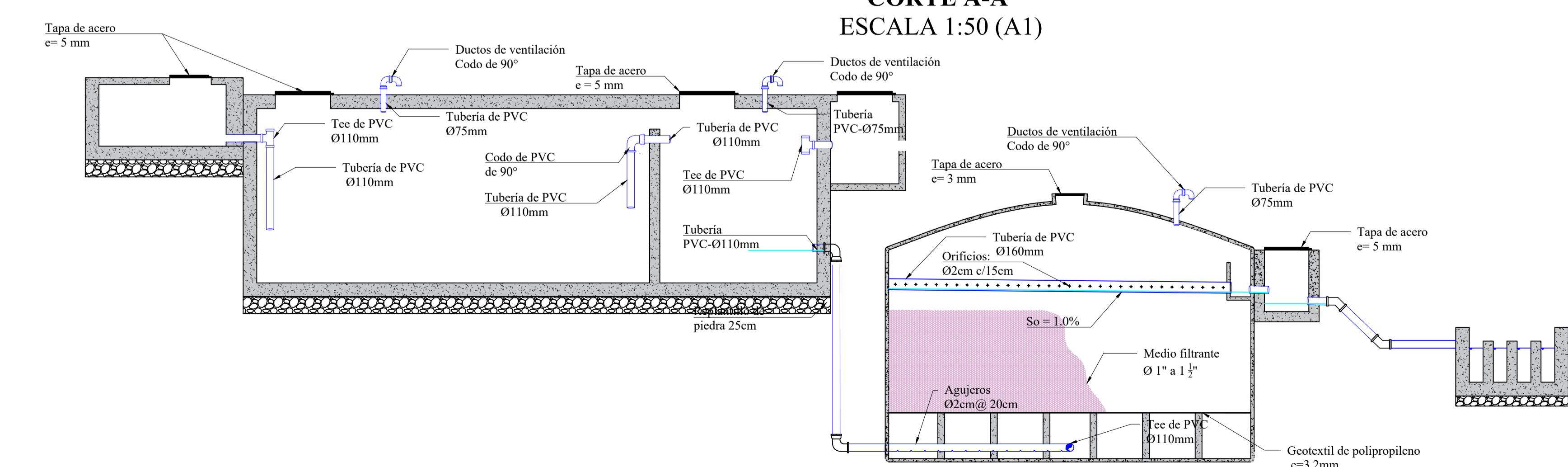
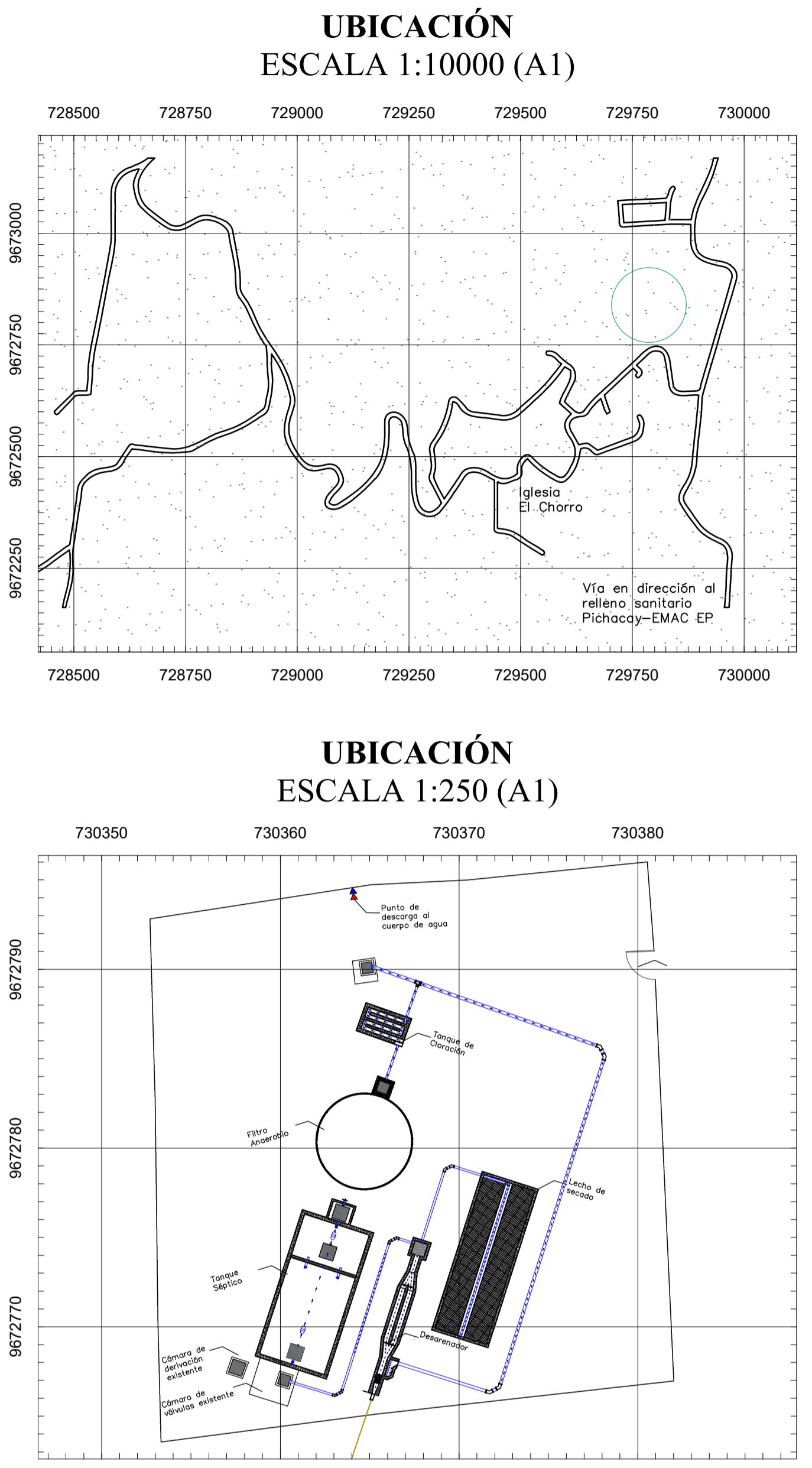
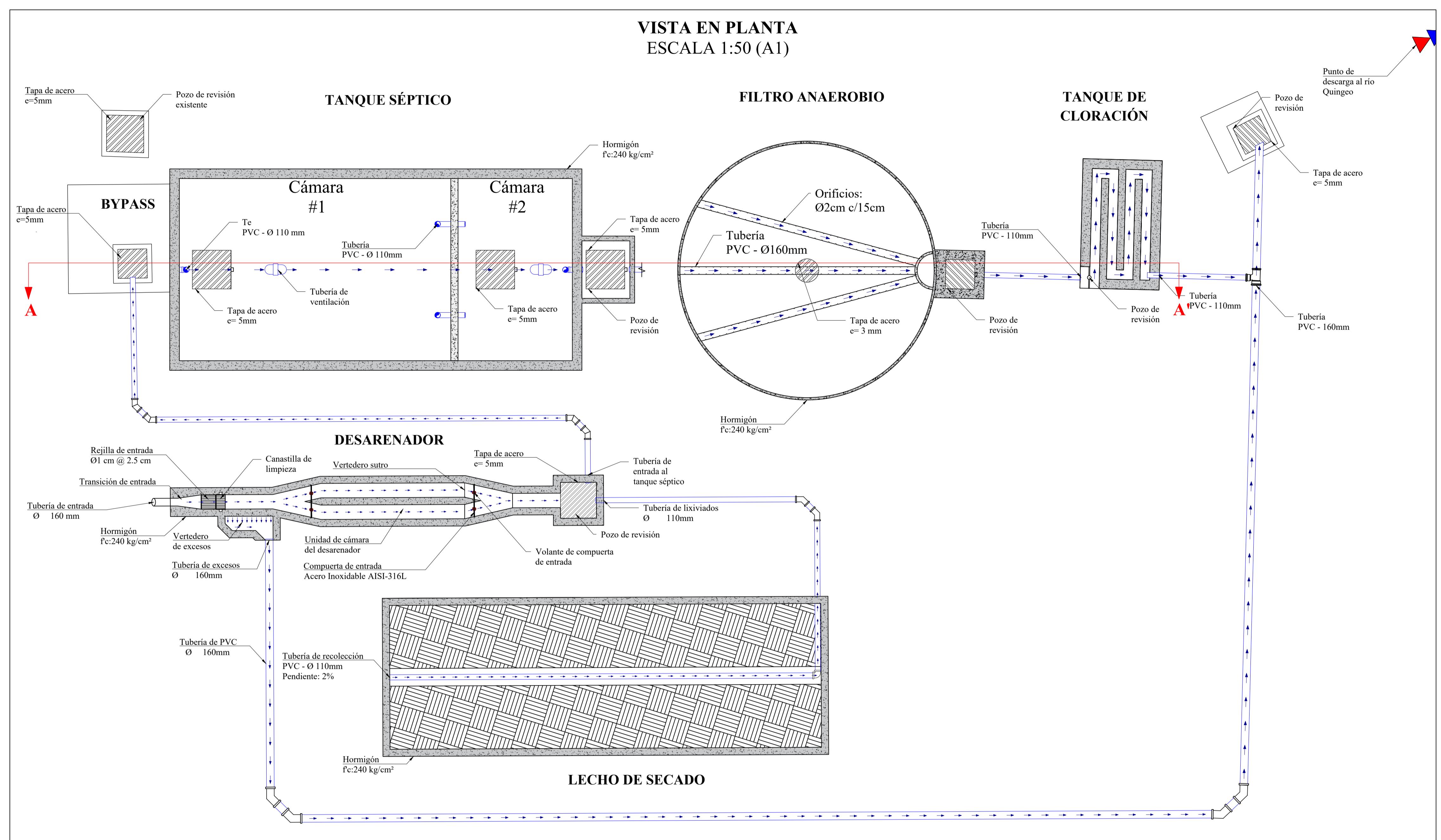
Anexo C: Detallamiento de estructuras de tratamiento primario: tanque séptica y pozo de revisión.

Anexo D: Detallamiento de estructuras de tratamiento secundario filtro anaerobio de flujo ascendente Anexo D: Detallamiento de estructuras de tratamiento secundario filtro anaerobio de flujo ascendente.

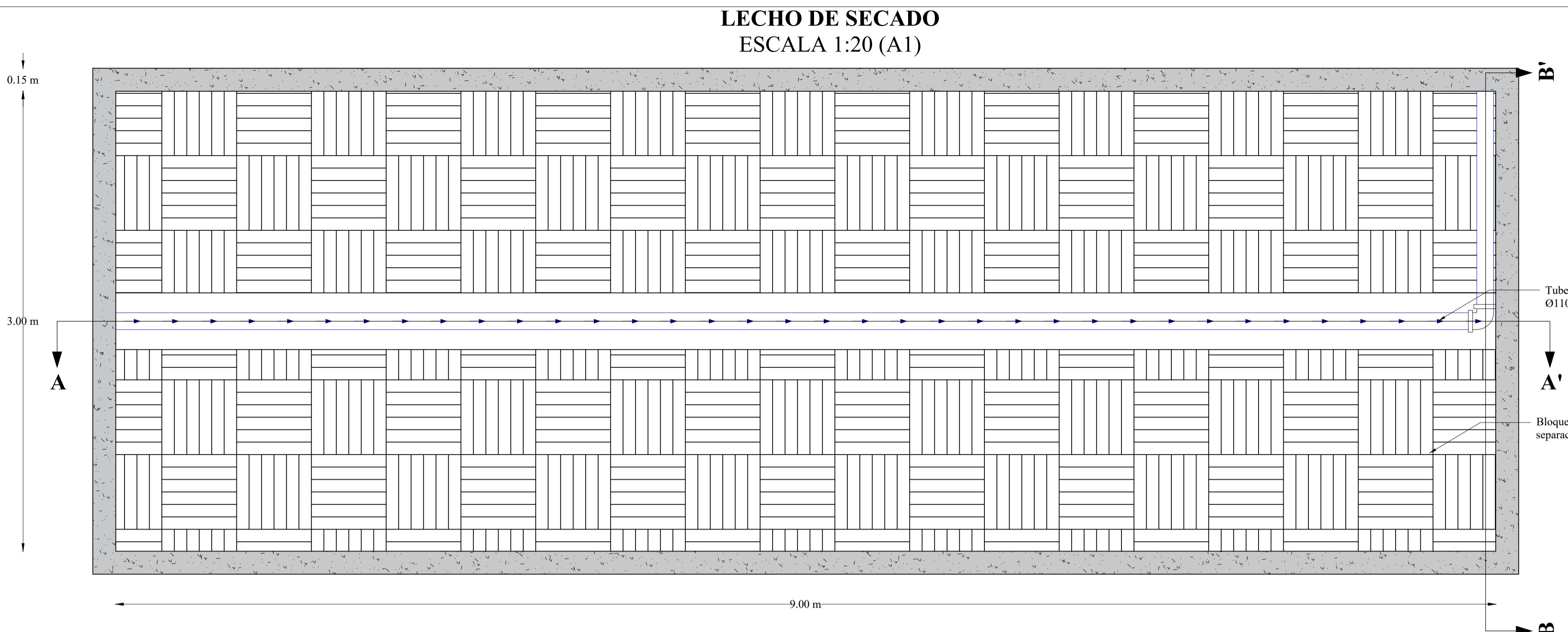
Anexo E: Detallamiento de estructuras de tratamiento terciario: tanque de cloración y perfiles de tuberías de conexión.

Anexo F: Detallamiento de estructuras de tratamiento de lodos: lecho de secado.

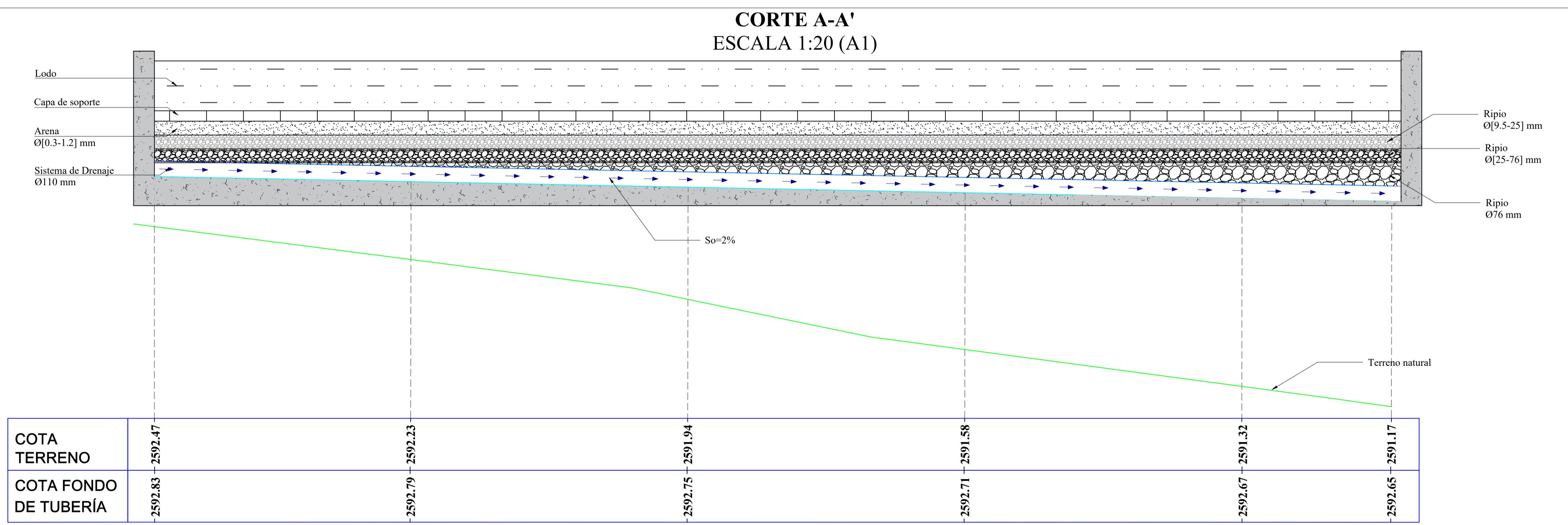
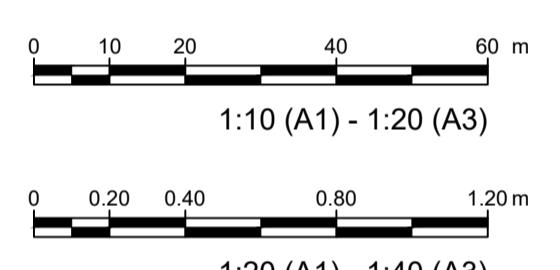
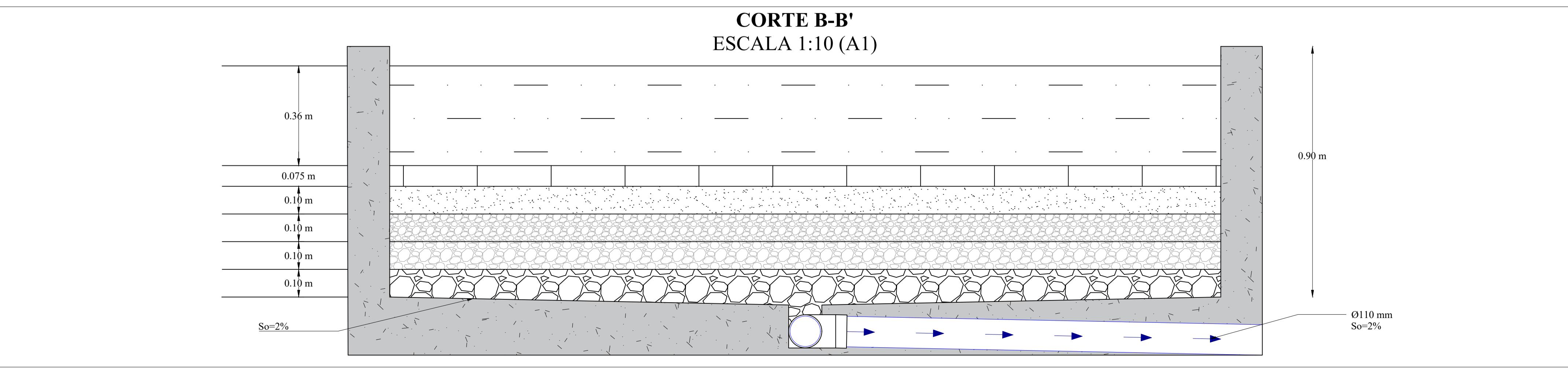
CONFIGURACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EL CHORRO



UNIVERSIDAD DE CUENCA FACULTAD DE INGENIERÍA	
EVALUACIÓN Y REDISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EL CHORRO	
CONTENIDO	
CONFIGURACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EL CHORRO, JUNTO AL CORTE EN PERfil DE LA SECCIÓN A-A'.	
Hernán Mendieta Correa. Pedro Estrella Calle.	Hernán Mendieta Correa. Pedro Estrella Calle.
DIBUJADO POR	DISEÑADO POR
Ing. Andrés Alvarado M.	Mayo 2023
REVISADO POR	FECHA
Este trabajo se realiza con el sistema de coordenadas Universal Transversal Mercator (UTM) System, Zona 17, banda M, DATUM WGS-84	
ESCALA	La indicada
HOJA N°	1 de 6

LECHO DE SECADO
 ESCALA 1:20 (A1)
**SIMBOLOGÍA**

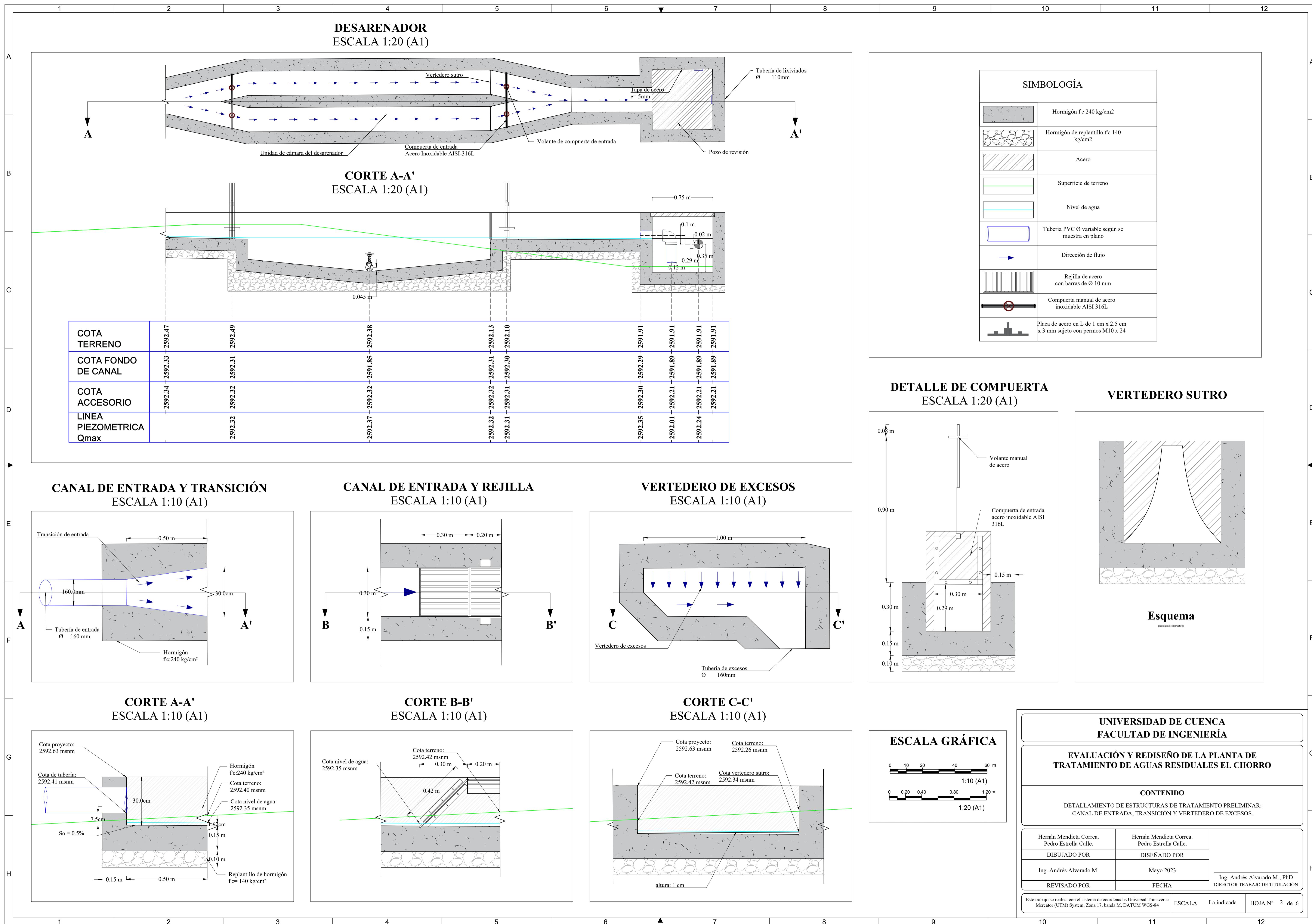
	Hormigón f'c 240 kg/cm²
	Hormigón de replantillo f'c 140 kg/cm²
	Ladrillo
	Lodo
	Arena
	Ripio
	Superficie de terreno
	Nivel de agua
	Tubería PVC Ø variable según se muestra en plano
	Dirección de flujo

CORTE A-A'
 ESCALA 1:20 (A1)
**ESCALA GRÁFICA**
CORTE B-B'
 ESCALA 1:10 (A1)

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
EVALUACIÓN Y REDISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EL CHORRO**CONTENIDO**

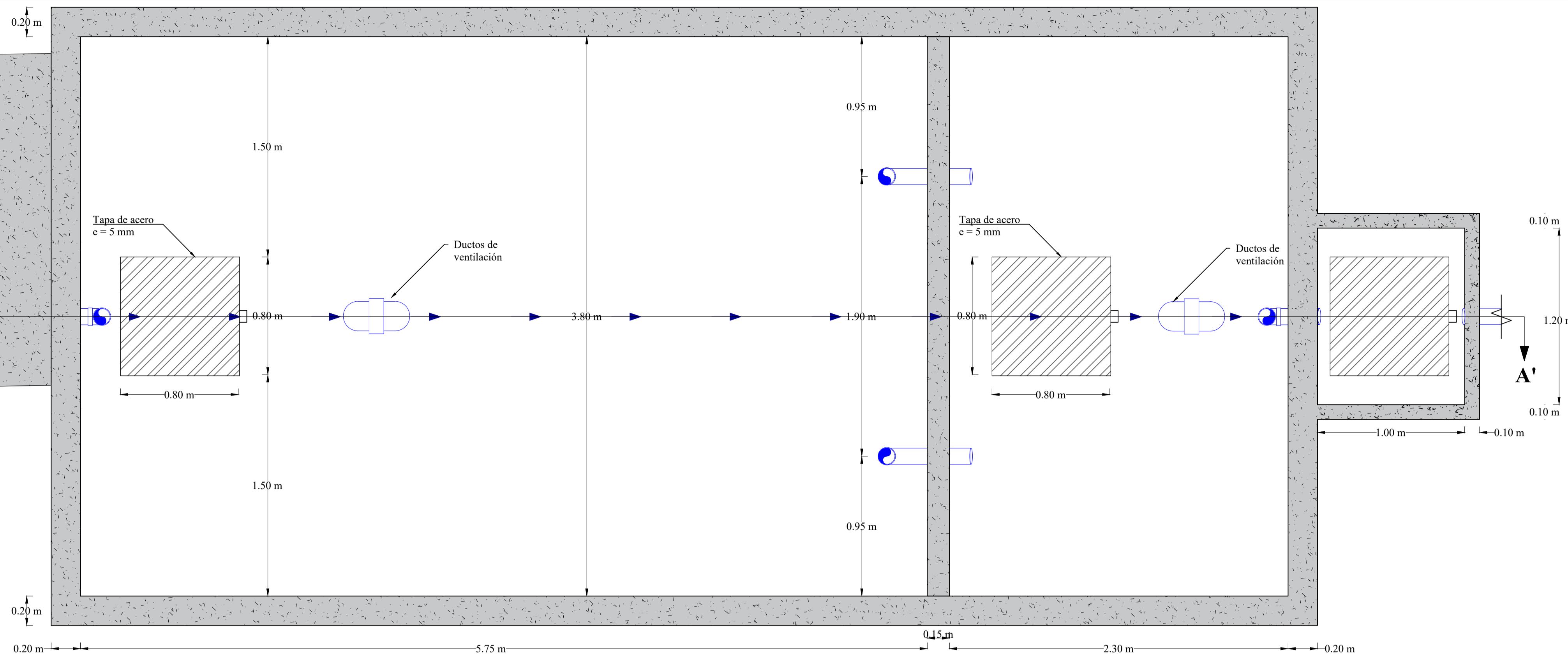
DETALLAMIENTO DEL LECHO DE SECADO

Hernán Mendieta Correa. Pedro Estrella Calle.	Hernán Mendieta Correa. Pedro Estrella Calle.	DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN
DIBUJADO POR	DISEÑADO POR	
Ing. Andrés Alvarado M.	Mayo 2023	
REVISADO POR	FECHA	

 Este trabajo se realiza con el sistema de coordenadas Universal Transverse Mercator (UTM) System, Zona 17, banda M, DATUM WGS-84
 ESCALA La indicada HOJA N° 3 de 6



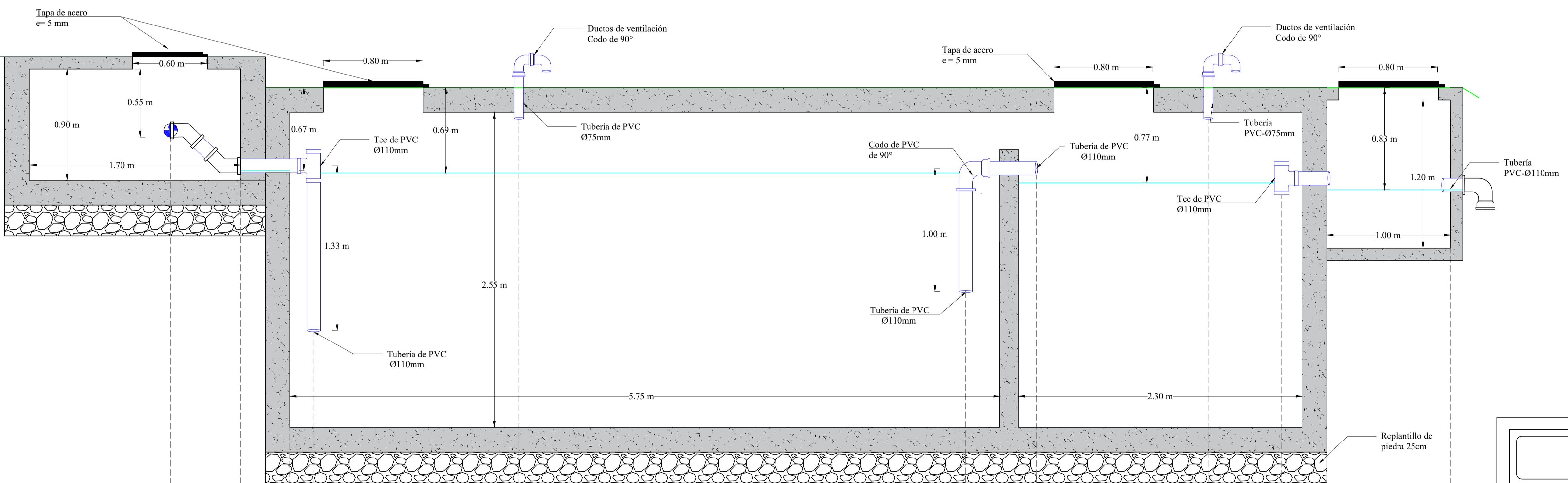
TANQUE SÉPTICO ESCALA 1:20 (A1)



SIMBOLOGÍA

	Hormigón fcc 240 kg/cm ²
	Hormigón de replantillo fcc 140 kg/cm ²
	Acero
	Codo PVC 45° con Ø variable según especificación en plano
	Yee PVC ubicado en el bypass
	Tee PVC 45° con Ø variable según especificación en plano
	Superficie de terreno
	Nivel de agua
	Tubería PVC Ø variable según se muestra en plano
	Dirección de flujo

CORTE A-A' ESCALA 1:20 (A1)



ESCALA GRÁFICA

0 0.20 0.40 0.80 1.20 m
1:20 (A1)

COTA TERRENO	2591.88	2591.48	2592.48	2592.48	2592.48	2592.23	2592.23	2592.23	2592.23	2592.23	2592.23
COTA FONDO DE ESTRUCTURA	-2591.56	-2591.54	-2591.56	-2591.56	-2591.56	-2591.54	-2591.54	-2591.54	-2591.54	-2591.54	-2591.54
COTA ACCESORIO	-2591.54	-2590.27	-2590.23	-2590.23	-2590.23	-2590.23	-2590.23	-2590.23	-2590.23	-2590.23	-2590.23
LINEA PIEZOMETRICA Qmax	-2591.54	-2590.57	-2591.54	-2591.97	-2591.54	-2591.54	-2591.54	-2591.54	-2591.54	-2591.54	-2591.54

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA

EVALUACIÓN Y REDISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EL CHORRO

CONTENIDO

DETALLAMIENTO DEL TANQUE SÉPTICO

Hernán Mendieta Correa. Pedro Estrella Calle.	Hernán Mendieta Correa. Pedro Estrella Calle.	
DIBUJADO POR	DISEÑADO POR	
Ing. Andrés Alvarado M.	Mayo 2023	
REVISADO POR	FECHA	

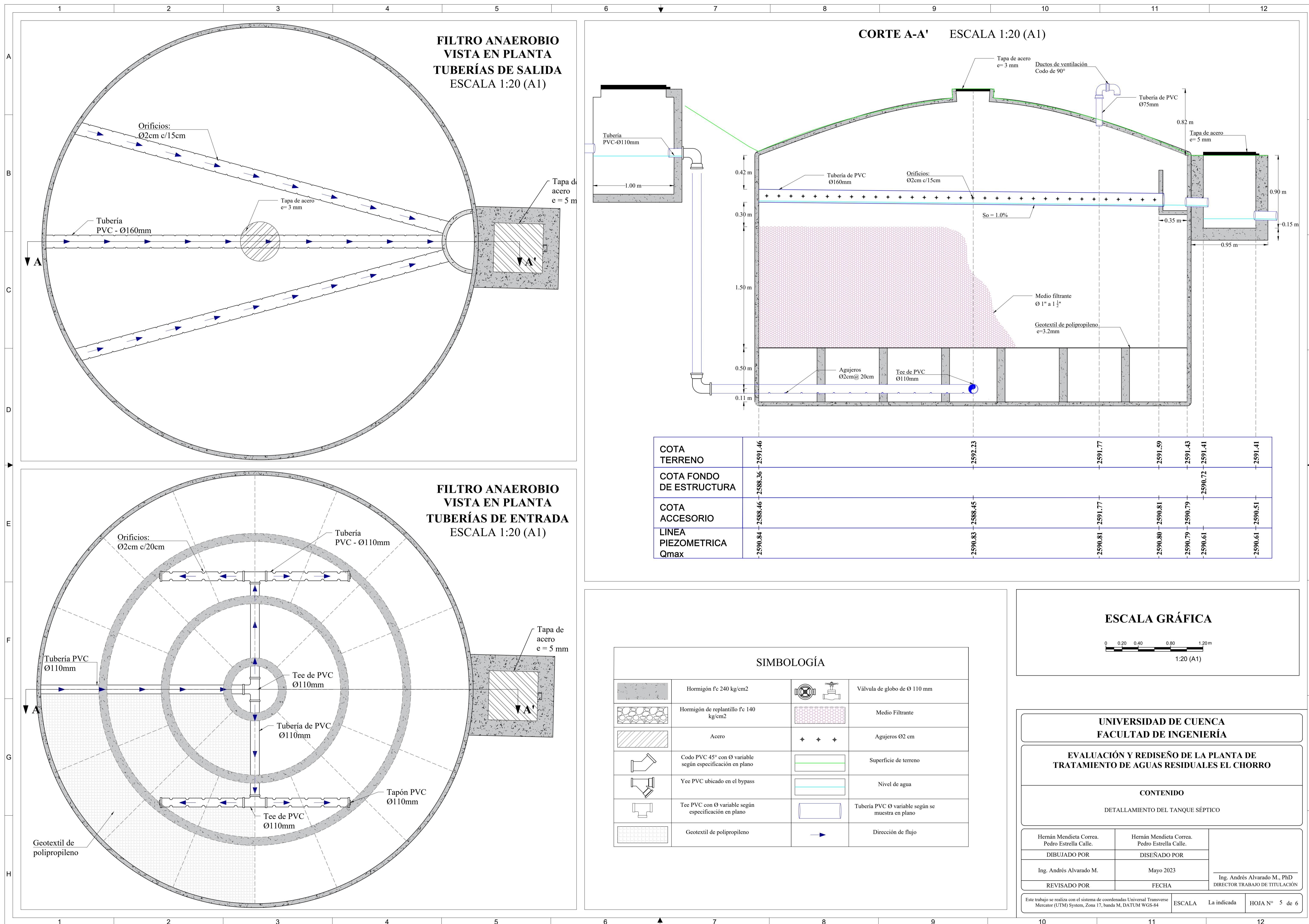
Ing. Andrés Alvarado M., PhD
DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN

Este trabajo se realiza con el sistema de coordenadas Universal Transverse Mercator (UTM) System, Zona 17, banda M, DATUM WGS-84

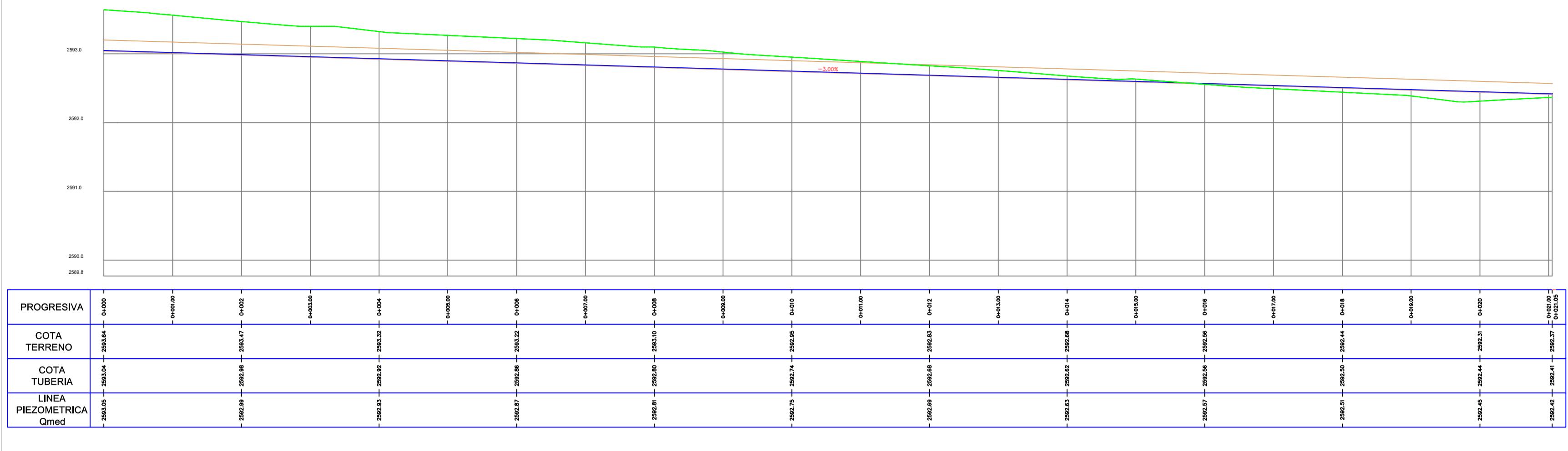
ESCALA

La indicada

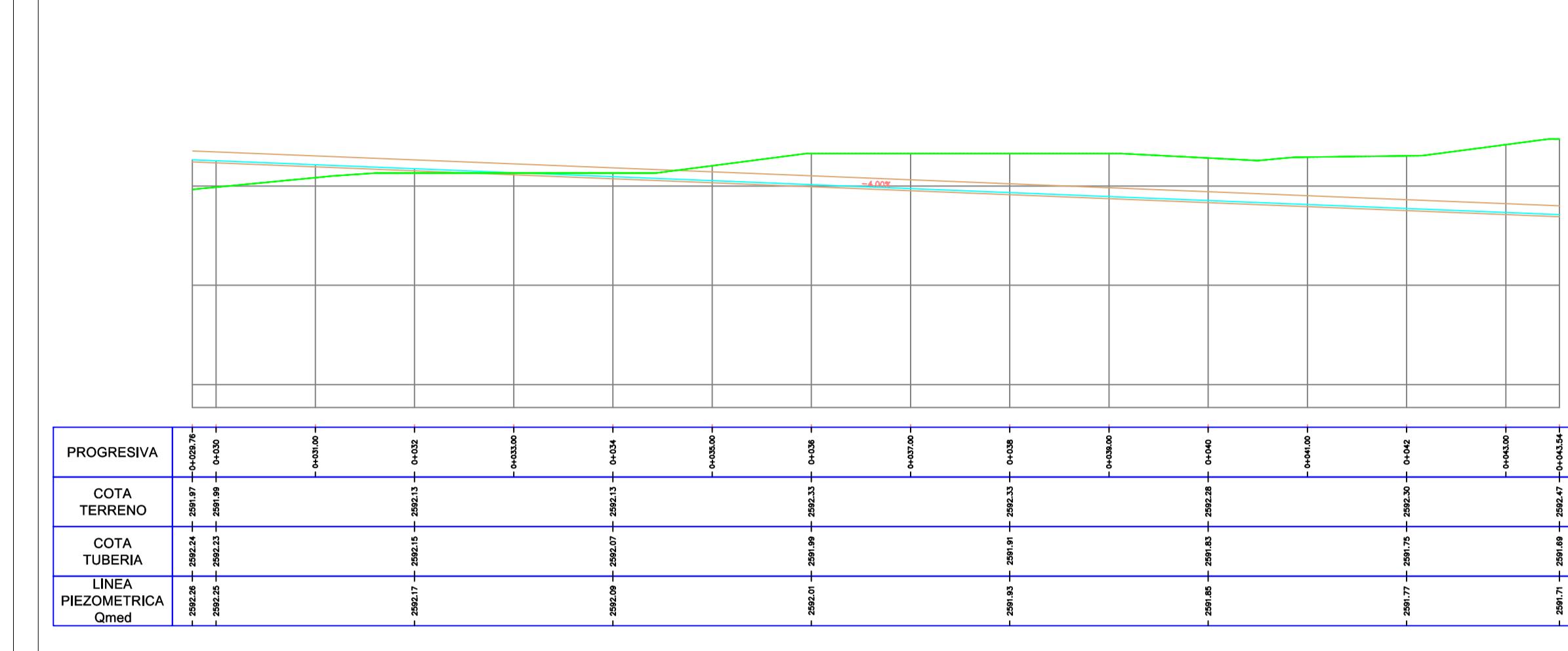
HOJA N° 4 de 6



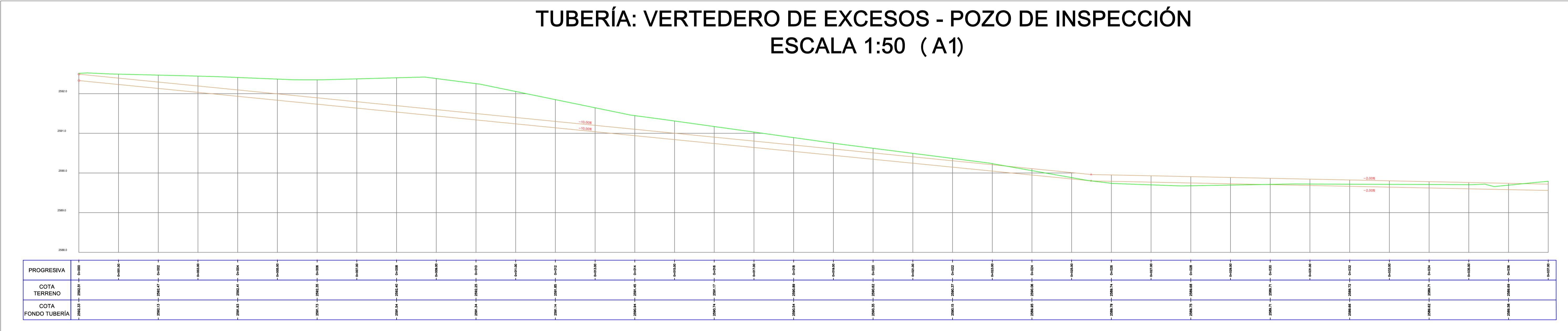
TUBERÍA DE ENTRADA - TRATAMIENTO PRELIMINAR ESCALA 1:50 (A1)



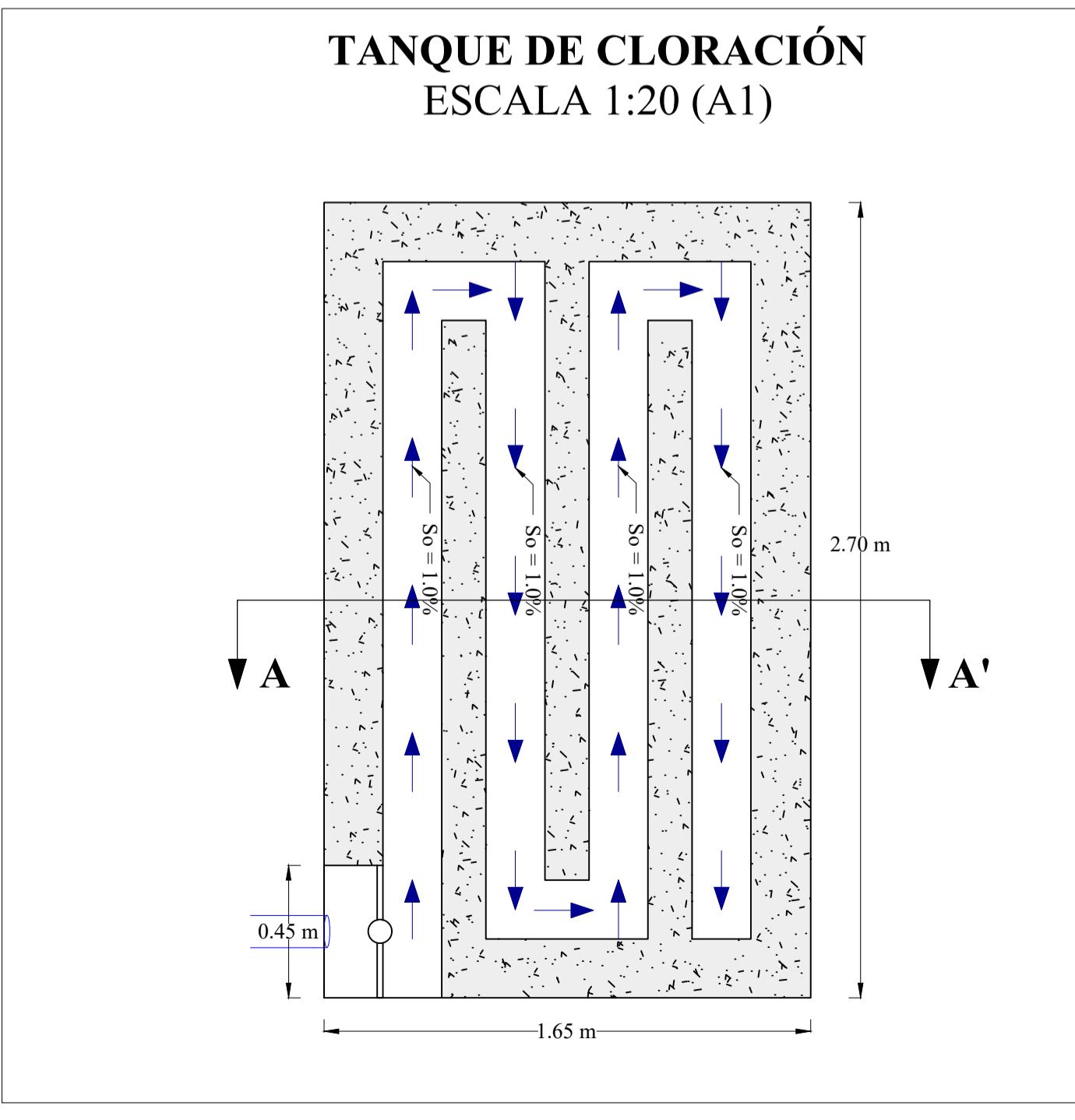
TUBERÍA DE : TRATAMIENTO PRELIMINAR - BYPASS ESCALA 1:50 (A1)



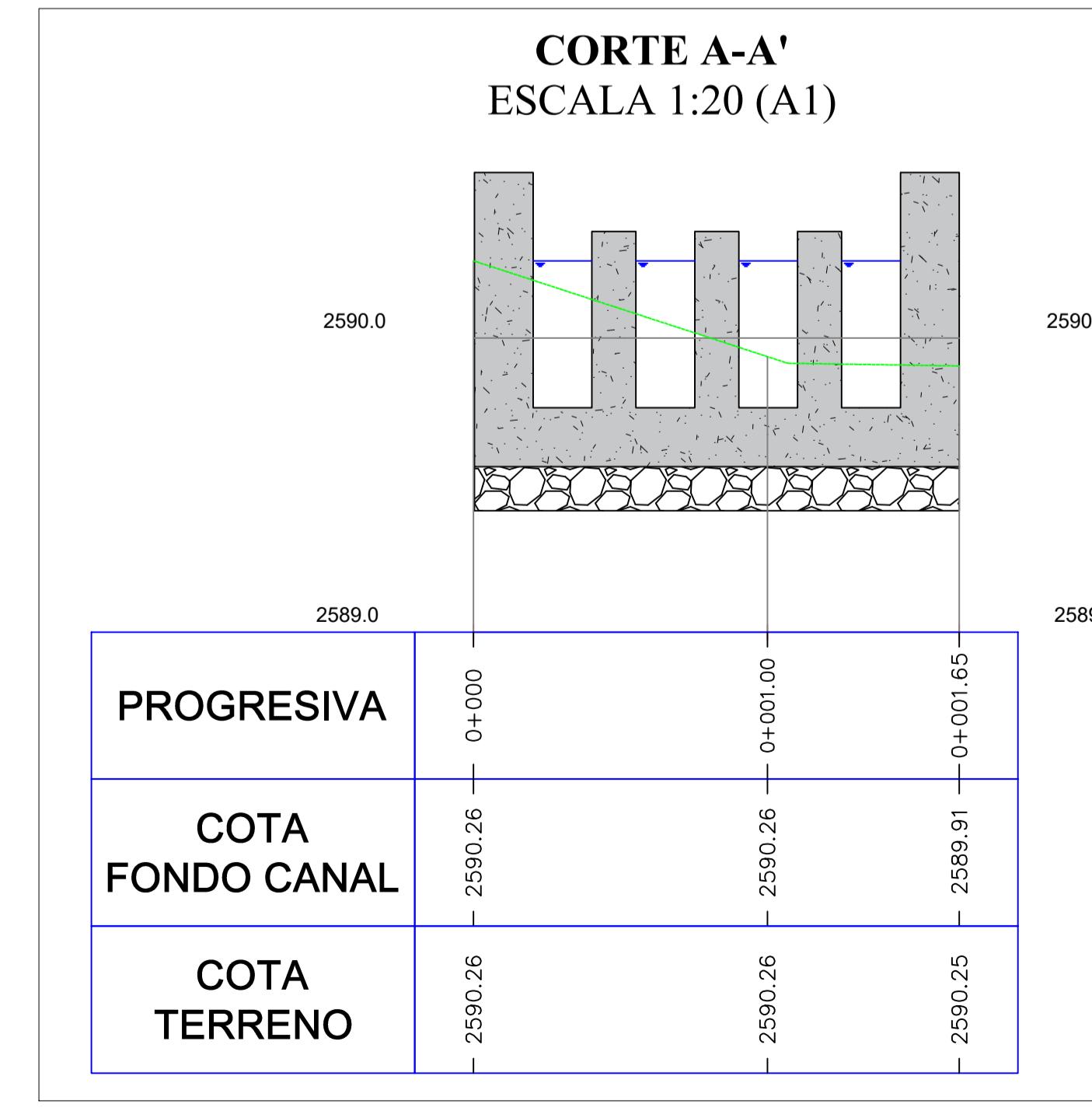
TUBERÍA: VERTEDERO DE EXCESOS - POZO DE INSPECCIÓN ESCALA 1:50 (A1)



TANQUE DE CLORACIÓN ESCALA 1:20 (A1)



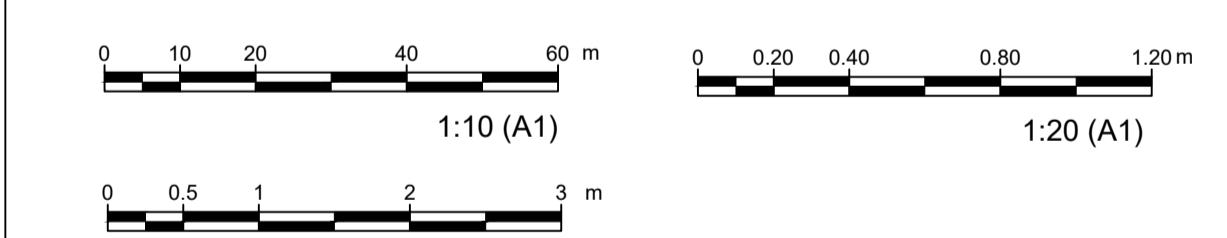
CORTE A-A' ESCALA 1:20 (A1)



POZO DE REVISIÓN FINAL ESCALA 1:10 (A1)



ESCALA GRÁFICA



UNIVERSIDAD DE CUENCA FACULTAD DE INGENIERÍA

EVALUACIÓN Y REDISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EL CHORRO

CONTENIDO

DETALLAMIENTO DEL TANQUE DE CLORACIÓN, VISTA EN PERFIL DE LAS
TUBERÍAS DE CONEXIÓN

Hernán Mendieta Correa. Pedro Estrella Calle.	Hernán Mendieta Correa. Pedro Estrella Calle.	Ing. Andrés Alvarado M., PhD DIRECTOR TRABAJO DE TITULACIÓN
DIBUJADO POR	DISEÑADO POR	
Ing. Andrés Alvarado M.	Mayo 2023	
REVISADO POR	FECHA	

Este trabajo se realiza con el sistema de coordenadas Universal Transversal Mercator (UTM) System, Zona 17, banda M, DATUM WGS-84

ESCALA La indicada HOJA N° 6 de 6