

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Propuesta de repotenciación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del casco urbano de la Parroquia Sevilla, Cantón Cáscales, Provincia de Sucumbíos.

PROYECTO DE GRADUACIÓN

Previo la obtención del Título de:

Máster en Ingeniería Civil con Mención en Construcción y Saneamiento

Presentado por:

Quiroz Almeida Jonathan Patricio
Almeida Villarreal Cristhian Ricardo

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2024

DEDICATORIA

A nuestras queridas familias, por su incondicional apoyo, paciencia y comprensión. Gracias por ser nuestra fuente de fortaleza y motivación en cada paso de este camino. Su amor y sacrificio han sido fundamentales para alcanzar nuestras metas, y este logro es tan suyo como nuestro. Con profunda gratitud y cariño, dedicamos este trabajo a ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos sinceramente a todas las personas que contribuyeron a la realización de este trabajo. A nuestros profesores y asesores, por su valiosa guía; a mis compañeros y colegas, por su apoyo y colaboración; y a las instituciones que facilitaron los recursos necesarios. A todos aquellos que, de alguna manera, pusieron su granito de arena en este proyecto, nuestro más profundo agradecimiento.

Declaración Expresa

Nosotros Quiroz Almeida Jonathan Patricio y Almeida Villarreal Cristhian Ricardo acordamos y reconocemos que: La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá a los autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor de los autores. Los estudiantes deberán procurar en cualquier caso de cesión de sus derechos patrimoniales incluir una cláusula en la cesión que proteja la vigencia de la licencia aquí concedida a la ESPOL.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, secreto empresarial, derechos patrimoniales de autor sobre software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 04 del 2024.

Quiroz Almeida
Jonathan Patricio

Almeida Villarreal
Cristhian Ricardo

EVALUADORES

Quijano Arteaga Nadia
Rosaura
PROFESOR DE LA
MATERIA

Mejía Peralta Fernanda
Estefanía
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Palabras Clave: Repotenciación, PTAR, Humedales artificiales, tratamiento, aguas residuales, sostenibilidad.

La presente investigación tiene como objetivo proponer un diseño de repotenciación para optimizar los tratamientos unitarios del sistema de humedales artificiales en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la Parroquia Sevilla, Cantón Cáscales, Provincia de Sucumbíos. Mediante un análisis exhaustivo de la configuración actual de los humedales y los resultados obtenidos, se identificaron las limitaciones que impiden alcanzar los estándares de calidad del efluente establecidos por la normativa ambiental vigente.

La propuesta de diseño se centra en ajustar las dimensiones y características de los humedales existentes y optimizar los procesos de tratamiento para mejorar su eficiencia. Se evaluarán y revisarán los procesos de pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario, además de realizar cálculos hidráulicos detallados para identificar las posibles deficiencias del estado actual.

El objetivo principal de esta investigación es lograr un tratamiento más eficiente y sostenible de las aguas residuales, asegurando el cumplimiento de la normativa ambiental vigente y contribuyendo a la protección de los recursos hídricos locales. Esta propuesta no solo busca mejorar la calidad del efluente, sino también establecer una base para la replicabilidad de este modelo en otras comunidades con desafíos similares.

ABSTRACT

Keywords: Repowering, WWTP, Artificial Wetlands, Treatment, Wastewater, Sustainability.

This research aims to propose a repowering design to optimize the unit treatment processes of the artificial wetland system in the wastewater treatment plant (WWTP) of the Sevilla Parish, Cascales Canton, Sucumbíos Province. Through a comprehensive analysis of the current configuration of the wetlands and the results obtained, the limitations preventing the achievement of the established effluent quality standards were identified.

The design proposal focuses on adjusting the dimensions and characteristics of the existing wetlands and optimizing the treatment processes to improve their efficiency. Pre-treatment, primary treatment, and secondary treatment processes will be evaluated and reviewed, along with detailed hydraulic calculations to identify possible deficiencies in the current state.

The main objective of this research is to achieve a more efficient and sustainable wastewater treatment, ensuring compliance with current environmental regulations and contributing to the protection of local water resources. This proposal not only aims to improve the effluent quality but also to establish a basis for the replicability of this model in other communities facing similar challenges.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	IX
SIMBOLOGÍA.....	X
ÍNDICE DE PLANOS.....	XI
CAPÍTULO 1	12
1. Introducción.....	12
1.1 Antecedentes	13
1.2 Localización	15
1.3 Estudios Previos.....	15
1.4 Problemática que Resolver.....	17
1.5 Justificación.....	18
1.6 Objetivos	18
1.6.1 Objetivo General.....	18
1.6.2 Objetivos Específicos.....	19
CAPÍTULO 2	20
2. Desarrollo del proyecto.....	20
2.1 Marco Conceptual	20
2.1.1 Aguas Residuales	20
2.1.2 Aguas Residuales Domesticas	20
2.1.3 Tratamiento de las Aguas Residuales.....	21
2.1.4 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	21
2.1.4.1 Tratamiento Preliminar.....	21

a) Canal de Aproximación.	22
b) Cribado.....	22
c) Desarenador.	23
d) Trampa de grasas.	25
e) Fosa Séptica	25
f) Sedimentador primario.	26
g) Tanques imhoff.....	27
2.1.4.3 Tratamiento Secundario.....	27
h) Humedales artificiales.	28
i) Clarificador secundario.....	29
j) Filtro percolador.	29
2.1.4.4 Tratamiento Terciario.....	29
2.2 Marco Metodológico	30
2.2.1 Diagnóstico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	31
2.2.1.1 Diagnóstico Visual de la PTAR	31
k) Pretratamiento.....	31
l) Tratamiento primario	33
m) Tratamiento secundario	37
n) Estructuras complementarias	40
2.2.1.2 Diagnóstico en Base a Laboratorio	41
o) Muestreo Compuesto	42
p) Determinación del grado de eficiencia de la PTAR.....	46
2.2.1.3 Diagnóstico en Base al Cálculo Hidráulico.....	46
q) Población	47
r) Caudales de diseño.....	47
s) Caudal medio de agua residual	48

t)	Caudal doméstico de diseño	48
u)	Caudal institucional	48
v)	Caudal de infiltración	49
w)	Caudal ilícito	49
x)	Caudal de ingreso a la PTAR	50
y)	Caracterización del agua residual influente	50
z)	Volumen de la fosa séptica.....	51
aa)	Área del humedal artificial.....	51
2.2.2	Propuesta de mejoras para la PTAR.....	52
2.2.2.1	Área de Influencia.....	52
2.2.2.2	Población futura.....	52
2.2.2.3	Caudales de diseño	53
bb)	Caudal medio de agua residual	53
cc)	Caudal de ingreso a la PTAR.....	53
2.2.2.4	Determinación de la carga contaminante influente.....	54
2.2.2.5	Diseño hidráulico de las unidades de tratamiento	54
2.2.2.6	Canal de aproximación	55
dd)	Área del canal de aproximación	55
ee)	Profundidad del canal de aproximación	56
ff)	Ancho del canal de aproximación.....	56
gg)	Radio hidráulico	56
hh)	Velocidad del caudal de agua residual a través de Manning	57
ii)	Profundidad de diseño del canal de aproximación.....	57
2.2.2.7	Sistema de Cribado	57
jj)	Número de barras	58
kk)	Ancho efectivo del canal	58

ll)	Área transversal	58
mm)	Velocidad horizontal	58
nn)	Radio hidráulico	59
oo)	Velocidad de Manning	59
pp)	Pérdida de carga en las rejillas	59
qq)	Lámina de agua	59
2.2.2.8	Desarenador de flujo horizontal	59
rr)	Área transversal.....	60
ss)	Calado del canal	60
tt)	Largo de la zona de desarenado	60
uu)	Carga superficial.....	61
2.2.2.9	Tanques Imhoff.....	61
vv)	Superficie del Tanque Imhoff	61
ww)	Ancho del Tanque.....	62
xx)	Longitud del Tanque	62
yy)	Profundidad de la zona de decantación	62
zz)	Superficie del triángulo	62
aaa)	Superficie del rectángulo	63
bbb)	Superficie total	63
ccc)	Volumen de decantación.....	63
ddd)	Velocidad horizontal	63
eee)	Tiempo de retención hidráulica.....	64
fff)	Superficie total del tanque.....	64
ggg)	Ancho total del tanque	64
hhh)	Longitud total del tanque	64
iii)	Volumen de lodos	65

jjj)	Altura de lodos	65
kkk)	Altura de digestión	65
lll)	Volumen total del tanque	66
2.2.2.10	Humedal horizontal de flujo subsuperficial	66
mmm)	Área superficial del humedal	66
nnn)	Carga orgánica superficial	67
ooo)	Carga hidráulica	67
ppp)	Ancho del humedal.....	67
qqq)	Superficie transversal del humedal	68
rrr)	Carga orgánica transversal del humedal.....	68
sss)	Superficie transversal del humedal	68
ttt)	Largo del humedal	69
uuu)	Ancho del humedal.....	69
vvv)	Dimensionamiento de celdas	69
www)	Número de celdas	69
xxx)	Tiempo de retención hidráulica	70
yyy)	Volumen del humedal	70
2.2.2.11	Humedal de flujo vertical.....	70
zzz)	Carga orgánica	70
aaaa)	Área superficial del humedal	71
bbbb)	Carga hidráulica máxima superficial	71
.....		71
cccc)	Número de celdas del humedal	71
dddd)	Ancho del humedal.....	72
eeee)	Largo del humedal.....	72
ffff)	Cálculo del tanque dosificador	72

CAPÍTULO 3	73
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	73
3.1 Diagnóstico Actual.....	73
3.1.1 Eficiencia de la PTAR	73
3.1.2 Población actual y caudales.....	77
3.1.3 Canal de aproximación y zona de rejillas	78
3.1.4 Fosa Séptica.....	78
3.1.5 Humedales artificiales de flujo subsuperficial	79
3.2 Diseño de las nuevas instalaciones de la PTAR Sevilla	80
3.2.1 Determinación de la Caracterización del Agua Residual	80
3.2.2 Población Proyectada y Caudales de Diseño	81
3.2.3 Diseño del Canal de Aproximación	82
3.2.4 Diseño del Sistema de Cribado.....	82
3.2.5 Diseño del Desarenador de flujo horizontal.....	84
3.2.6 Diseño de tratamiento primario fosa séptica existente más tanques Imhoff 84	
3.2.7 Diseño del humedal de flujo horizontal subsuperficial	88
3.2.8 Diseño del humedal de flujo vertical subsuperficial	90
3.2.9 Elección de propuesta definitiva.....	91
3.2.10 Presupuesto.....	94
CAPÍTULO 4	96
4. Conclusiones Y Recomendaciones	96
4.1 Conclusiones.....	96
4.2 Recomendaciones.....	97
BIBLIOGRAFÍA	99
PLANOS Y ANEXOS.....	103

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
NACE	National Association of Corrosion Engineer
SSC	Electrodo de Plata Cloruro de Plata
CSE	Electrodo de Cobre Sulfato de Cobre
HWL	High Water Level
LWL	Low Water Level
CIS	Inspección pasó a paso, medición de potenciales de encendido
MPY	Milésimas de pulgadas por año
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
GADM	Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
GEI	Gases de Efecto Invernadero
DQO	Demanda Química de Oxígeno
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno

SIMBOLOGÍA

Q	Caudal
m ³	Metros Cúbicos
cm ³	Centrimetros Cúbicos
lt	Litros
ha	Hectareas
km ²	Kilometro cuadrado
m ²	Metro cuadrado
km	Kilometro
m	Metro
cm	Centimetro
mm	milimetro
pulg	Pulgada
g	Gramo
mg	Miligramo
pH	Potencial de Hidrógeno
Cu	Cobre
Ni	Níquel
C	Carbono
Mn	Manganeso
P	Fósforo

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1	RED SANITARIO.....	PAG. 104
PLANO 2	VISTA DE LA PLANTA ACTUAL	PAG. 105
PLANO 3	VISTA DE LECHO DE SECADO ACTUAL	PAG. 106
PLANO 4	VISTA DE FOSA SÉPTICA ACTUAL	PAG. 107
PLANO 5	VISTA DE HUMEDALES Y CRIBAS ACTUAL	PAG. 108
PLANO 6	VISTA DE PERFILES DE HUMEDALES ACTUAL.....	PAG. 109
PLANO 7	VISTA DE LA PLANTA PROPUESTA.....	PAG. 110
PLANO 8	VISTA PERFIL PTAR Y CANAL DE APROXIMACIÓN PROP.....	PAG. 111
PLANO 9	VISTA TANQUE IMHOFF PROPUESTA.....	PAG. 112
PLANO 10	VISTA FOSA SÉPTICA PROPUESTA.....	PAG. 113
PLANO 11	VISTA HUMEDALES PROPUESTA.....	PAG. 114
PLANO 12	VISTA DE LECHO DE SECADO PROPUESTA.....	PAG. 115

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de agua, sumada a la limitada capacidad de las plantas de tratamiento existentes, representa una amenaza para los ecosistemas acuáticos y la salud pública. En la Amazonía ecuatoriana, esta problemática se agudiza. Esta investigación propone la repotenciación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Sevilla como una solución integral para abordar este desafío, contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental y al desarrollo sostenible de la región.

El objetivo principal de este estudio es proponer un diseño de repotenciación que permita optimizar el proceso de tratamiento de las aguas residuales, incrementando su eficiencia y reduciendo el impacto ambiental. Además, se llevará a cabo un análisis detallado del balance de carbono asociado a la operación de la planta, tanto en su estado actual como en la propuesta de repotenciación, con el fin de cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y evaluar las posibles reducciones que se podrían lograr.

La selección de la PTAR de Sevilla como caso de estudio se justifica por la confluencia de diversos factores críticos. La parroquia, a pesar de su tamaño relativamente pequeño (menos de 2000 habitantes), se encuentra en una región ambientalmente sensible como la Amazonía ecuatoriana. Su ubicación estratégica, cerca de múltiples fuentes de agua, hace que el inadecuado tratamiento de las aguas residuales represente una amenaza significativa para estos ecosistemas. Además, la planta actual presenta disfuncionalidades evidenciadas por técnicos del GADM Cáscales, lo que agrava la situación. La carencia de estudios específicos sobre tratamiento de aguas residuales en esta zona del Ecuador subraya la necesidad de investigación y de establecer un referente para futuras intervenciones.

1.1 Antecedentes

Los ecosistemas son sistemas funcionales de la naturaleza que incluyen organismos que interactúan entre sí y con el medio ambiente. Existen diferentes tipos de ecosistemas como los terrestres y acuáticos, donde se produce un intercambio de materia y energía con su entorno. Dado que están interconectados, cualquier afectación en uno puede influir en los ecosistemas cercanos (ANGELINA MARTÍNEZ et al., 2010).

Ecuador es uno de los países más megadiversos a nivel mundial, el área continental abarca una gran variedad de ecosistemas diversos, como el páramo, manglares, bosque nuboso y selva tropical (Kleemann et al., 2022). En este contexto, Ecuador tiene un gran número de especies amenazadas con un total de 2,501 especies entre mamíferos, reptiles, anfibios, aves, invertebrados, peces y especies de plantas en peligro de extinción (IUCN Red List, 2020).

Las causas de las amenazas y pérdida de la biodiversidad en el Ecuador son debido a los cambios de uso de suelo como la agricultura y la urbanización, lo que ocasiona la contaminación del ecosistema por la generación de desechos sólidos, descarga de aguas residuales y emisiones de gases de efecto invernadero (Buytaert et al., 2006) (Koo et al., 2024).

La descarga de aguas residuales en los ecosistemas se origina por las actividades cotidianas de las personas, como quehaceres domésticos, comerciales e industriales.

Este hecho, puede provocar la contaminación de cuerpos de agua naturales, debido a la sobrecarga de altas concentraciones de materia orgánica, sólidos sedimentables, suspendidos, nutrientes y microorganismos patógenos (ONU et al., 2021).

De acuerdo con, Environmental Protection Agency (EPA, 1977). La falta de un sistema de tratamiento de agua residual ocasiona el deterioro de ecosistemas y la proliferación de plagas transmisoras de enfermedades como insectos y roedores. Por ello, de la necesidad de diseñar y construir Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), que sean capaces de remover las altas concentraciones de contaminantes y mejore la calidad de las aguas residuales que se vierten al ambiente, con el objetivo de precautelar la salud de las personas que habitan cerca a los cuerpos receptores de aguas residuales.

En Ecuador, el Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE) se encarga de regular y controlar la contaminación ambiental en plantas de tratamiento de aguas residuales y descargas a cuerpos de agua natural, para preservar el recurso hídrico y sus interrelaciones con el ambiente (MAATE, 2015).

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) del GAD Municipal de Cáscales (2020), el cantón cuenta con un bajo porcentaje de cobertura de alcantarillado siendo este de 28,85% de territorio cubierto. Del PDOT, se tiene que la parroquia con mayor cobertura es la de Cáscales con un 74.98%, seguida de la parroquia de Sevilla con un 71.67% de cobertura de alcantarillado.

De acuerdo con el GAD Municipal de Cáscales, la población de la cabecera parroquial de Sevilla cuenta con una red de recolección que incluye 200 conexiones domiciliarias a lo largo de aproximadamente 4.56 km de tubería de PVC con un diámetro de 200 mm, así como 42 pozos de revisión de hormigón con tapas metálicas. Sin embargo, la mayoría de los usuarios han conectado las aguas pluviales de sus viviendas al sistema de alcantarillado sanitario. Esto implica que la red, diseñada para el tratamiento de aguas residuales, también está encargada de conducir el caudal pluvial.

El centro poblado de Sevilla cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales conformada por las siguientes unidades: canal de aproximación y cribado, tanque séptico

y tres humedales artificiales. Sin embargo, las aguas residuales no reciben un tratamiento adecuado, ya que su diseño original no satisface las necesidades de saneamiento de la población. Como resultado, el efluente no cumple con los parámetros óptimos de descarga a un cuerpo receptor hídrico, conforme a la normativa vigente sobre calidad ambiental. Además, el escaso mantenimiento y tratamiento de la PTAR de la parroquia de Sevilla repercute negativamente en la calidad de agua del cuerpo receptor, generando un foco de contaminación ambiental en el área de influencia.

1.2 Localización

El proyecto se localiza en el área rural del cantón Cáscales, en la cabecera parroquial de Sevilla. Sus coordenadas son GMS son: Latitud 00.093032° N y longitud 77.116458° O, al margen de la vía E-45 Quito – Lago Agrio entre las ciudades de Cáscales y Nueva Loja

En la *Figura 1.* se evidencia un vistazo de la ubicación del proyecto localizada en la Parroquia de Sevilla.

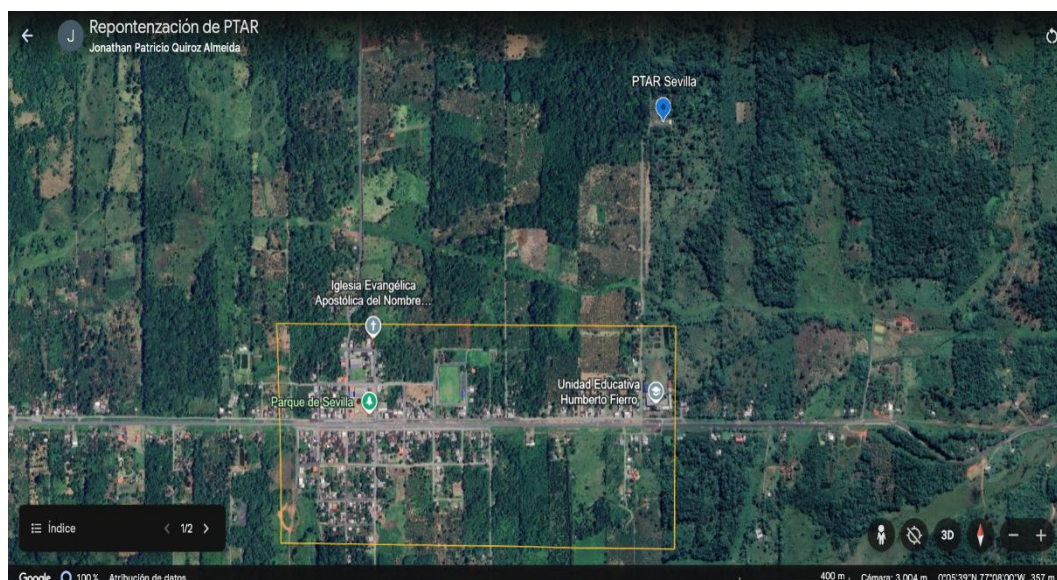


Figura 1. Ubicación geográfica del proyecto (Google Earth 2024).

1.3 Estudios Previos

Existe un informe del laboratorio AQLAB sobre la calidad del agua tratada en la PTAR de la Parroquia Sevilla, elaborado en abril de 2024, donde arrojó resultados mixtos. Si

bien la mayoría de los parámetros analizados cumplían con los estándares establecidos, la presencia de coliformes fecales por encima de los límites permitidos en la descarga final representa una preocupación significativa.

Esta situación no solo pone en riesgo la salud de las personas que viven en las comunidades cercanas a la descarga, sino que también afecta la calidad del agua de los ríos y otros cuerpos de agua receptores, con consecuencias negativas para la biodiversidad y los ecosistemas acuáticos.

Tabla 1. Resultados previos provenientes del GADM Cáscales.

Parámetros	Método de referencia	Límite máximo permisible	Unidad	Re-sultado
*Aceites y grasas	EPA 418.1, 1664 / 13	30,0	mg/L	1,1
Arsenico	SM 3030 B, 3114 C / 32	0,1	mg/L	< 0.01
Bario	SM 3030 B, 3111 D /34	2,0	mg/L	< 0.70
Cadmio	SM 3030 B, 3111 B / 33	0,02	mg/L	< 0.02
Cloro activo	SM 4500 Cl G / 06	0,5	mg/L	<0.2
Coliformes Fecales	SM 9222 D / 29	2 000	col/100ml	3000
Cloruros	SM 4500-C1- B/10	1 000	mg/L	< 16.83
Cobre	SM 3030 B, 3111 B/33	1,0	mg/L	<0.22
Color Real	HACH 8025 / 23	Inapreciable en dilución 1/20	U Pt-Co	<10
*Cianuros Total	HACH 8027 / 24	0,1	mg/L	< 0.01
Cromo hexavalente	SM 5220 D, 3500-Cr /37	0,5	mg/L	< 0.05
Tensoactivos	HACH 8028 / 18	0,5	mg/L	0,14
Demanda química de Oxígeno	SM 5220 D / 07	200,0	mg/L	25
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SM 5210 D/ 08	100,0	mg/L	7
*Fosforo total	HACH 8048 / 51	10,0	mg/L	< 0.40
*Fluoruros	SM 4500 F-D / 25	5,0	mg/L	<0.20
Fenoles	DIN 38409-H16-1 / 14	0,2	mg/L	< 0.05
Hierro total	SM 3030 B, 3111 B / 33	10,0	mg/L	3,92
Hidrocarburos totales	EPA 1664, 418.1 / 13	20,0	mg/L	0,54
Magnesio Total	SM 3030 B, 3111 B / 33	2,0	mg/L	<0.30
*Nitrogeno total	HACH 8038 / 12	50,0	mg/L	4,70
*Nitrogeno amoniacal	HACH 8038 / 12	30,0	mg/L	4,46
*Mercurio total	SM 3030 B, 3112 B / 42	0,005	mg/L	< 0.002
Níquel	SM 3030 B, 3111 B / 33	2,0	mg/L	< 0.10
Plomo	SM 3030 B, 3111 B / 33	0,2	mg/L	<0.20
Potencial Hidrógeno	SM 4500-H+B / 01	6,0 - 9,0	~	6,69

Parámetros	Método de referencia	Límite máximo permisible	Unidad	Re-sultado
Sólidos totales	SM 2540 B/ 03	1 600	mg/L	433,43
*Solidos totales suspendidos	SM 2540 D, HACH 8006 / 05	130,0	mg/L	90,00
Sulfatos	EPA 9038/11	1000,0	mg/L	< 20.00
*Selenio	SM 3030 B, 3114 C / 46	0,1	mg/L	< 0.01
*Sufuro de Hidrogeno	HACH 8131 / 26	0,5	mg/L	0,106
Zinc	SM 3030 B, 3111 B / 33	5,0	mg/L	<0.10

Los resultados de este estudio ponen de manifiesto la necesidad de fortalecer los sistemas de gestión ambiental a nivel local y de garantizar el cumplimiento de la normativa vigente. Además, subrayan la importancia de invertir en infraestructura y tecnología para mejorar la calidad del tratamiento de las aguas residuales y proteger los recursos hídricos.

1.4 Problemática que Resolver

Según observaciones en sitio y conversaciones realizadas con los técnicos del GADM de Cáscales, mismos que son los encargados de la planta de tratamiento de la Parroquia Sevilla en el Cantón Cáscales, presumen que las aguas servidas no tienen un tratamiento óptimo, esto podría deberse, a varios factores no determinados, entre ellos una aparentemente a una elevada tasa de conexiones clandestinas a la red de alcantarillado, así también, un diseño hidráulico original no optimo, que satisfaga las necesidades de saneamiento que requiere la población y con lo establecido en la normativa vigente Acuerdo Ministerial 061, Reforma al Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente, libro VI- Anexo 1: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA. Un posible inadecuado tratamiento de la PTAR puede afectar a la calidad de agua del cuerpo receptor, produciéndose así un foco de contaminación ambiental en el área de influencia, ya que en el sitio se constató la proliferación de vectores.

La carencia de un sistema óptimo de tratamiento de aguas residuales origina la contaminación y deterioro del ecosistema; además un mal servicio de saneamiento reduce la dignidad de vida de los moradores debido al aumento de elementos tóxicos y

el surgimiento de plagas; como insectos, roedores, entre otros animales, que son transmisores de enfermedades en la población.

1.5 Justificación

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) justifica la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales con el fin de reducir la contaminación generada por la descarga de aguas contaminadas para proteger la salud de los ecosistemas y de los organismos que la habitan (OPS et al., 2002).

El efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales que sirve al casco urbano de Sevilla no cumple con los límites máximos permisibles de descarga establecidos en el Anexo I del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA). Esto se refleja en el color gris oscuro del agua y su mal olor. Además, la presencia de ciertos insectos y roedores que transmiten enfermedades contagiosas afectan a la salud de los habitantes cercanos al punto de descarga, especialmente a los agricultores que utilizan esta agua para sus actividades.

Con el fin de abordar la problemática de la contaminación hídrica en la parroquia Sevilla, este trabajo se centra en el diseño de una infraestructura sanitaria adecuada para la planta de tratamiento de aguas residuales local. El objetivo es implementar un sistema de tratamiento que cumpla con los estándares de calidad establecidos, asegurando la protección de los ecosistemas acuáticos.

De acuerdo con la ONU (2018), el objetivo 6 de la agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible busca garantizar la calidad y disponibilidad del recurso agua, así como el tratamiento de aguas residuales y el control de descargas a los ecosistemas receptores.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo General

Diseñar una propuesta de optimización para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la Parroquia Sevilla, Cantón Cáscales, Provincia de Sucumbíos, mediante la implementación de mejoras en la capacidad operativa y eficiencia.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Realizar una evaluación integral de la PTAR existente a través de diagnósticos visuales, análisis de laboratorio y cálculos hidráulicos, con el fin de identificar deficiencias y puntos críticos que afectan su rendimiento.
- Diseñar alternativas de optimización basadas en el uso de tratamientos biológicos con humedales artificiales, orientadas a incrementar la eficiencia y la capacidad operativa de la PTAR.
- Seleccionar la alternativa de diseño más adecuada mediante un análisis comparativo de las variables técnicas y operativas de cada opción, garantizando la optimización del sistema de tratamiento.

CAPÍTULO 2

2. DESARROLLO DEL PROYECTO

2.1 Marco Conceptual

2.1.1 Aguas Residuales

Para Metcalf & Eddy (1995), las aguas residuales se consideran como una impurificación artificial y son el producto del uso de agua potable en diversas actividades humanas. Se describen como agua que contiene desechos o sustancias contaminantes y que requieren un tratamiento que disminuya los niveles de contaminación antes de ser devueltas al medio ambiente. Estas aguas contaminadas se originan de actividades domésticas, agricultura, comercio e industria.

2.1.2 Aguas Residuales Domesticas

Las aguas residuales domesticas provienen de actividades realizadas en viviendas, urbanizaciones y en instalaciones públicas o privadas, recolectadas en el sistema de alcantarillado y que a veces pueden combinarse con aguas pluviales si se descargan en un sistema de alcantarillado combinado (Osorio Rivera et al., 2021). Están compuestas

por las excretas, como heces y orina, así como también el agua utilizada en la cocina, lavado y aseo personal. Los contaminantes más comunes que contienen son microorganismos patógenos, materia orgánica, sólidos, detergentes, nitrógeno y fosforo (Campos Gómez, 2000).

2.1.3 Tratamiento de las Aguas Residuales

Según Yee-Batista (2013) en Latinoamérica el 70% de las aguas residuales no poseen un tratamiento adecuado debido a que es usada y devuelta completamente contaminada a los ríos. Por esta razón, el tratamiento de las aguas residuales es importante para reutilizar el agua, prevenir la contaminación fuentes hídricas y proteger el medio ambiente, especialmente por la salud pública de la población aledaña a las vertientes (Fernando et al., 2016).

Dado el alto nivel de densidad poblacional, las áreas urbanas con un ineficiente o escaso sistema de tratamiento sufren la proliferación de plagas portadoras de enfermedades, por lo que las ciudades requieren políticas de saneamiento ambiental para diseñar y construir plantas de tratamiento de aguas residuales, que permitan descontaminar el agua y reutilizarla en actividades agrícolas e industriales (Fernando et al., 2016).

2.1.4 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) son obras civiles de diversas estructuras hidráulicas, diseñadas para depurar las aguas residuales mediante tratamientos físicos, químicos y biológicos. Estos tratamientos se llevan a cabo según las características y componentes contaminantes que exceden los límites máximos permitidos por la normativa nacional vigente. El tratamiento del agua residual se realiza en cuatro etapas: tratamiento preliminar, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario (Metcalf & Eddy, 1995).

2.1.4.1 Tratamiento Preliminar

El pretratamiento o tratamiento preliminar, se refiere a las obras que reciben el caudal de aguas residuales en la planta de tratamiento y está destinado a la preparación o acondicionamiento de estas aguas. Su principal objetivo es proteger las instalaciones y

garantizar el correcto funcionamiento de las obras de tratamiento, además de eliminar o reducir significativamente sólidos gruesos, eliminación de arenas, gravillas, grasas y aceites. Las operaciones preliminares comúnmente empleados son cribado, desarenadores y desengrasadores (Collazos, 2008).

a) Canal de Aproximación.

Es una estructura utilizada en plantas de tratamiento de agua para dirigir el flujo del agua de manera uniforme y controlada hacia un componente específico. El correcto funcionamiento de estas estructuras depende del flujo de llegada a las mismas, el cual debe ser tranquilo y no turbulento, en régimen subcrítico (Abarca, 2013).

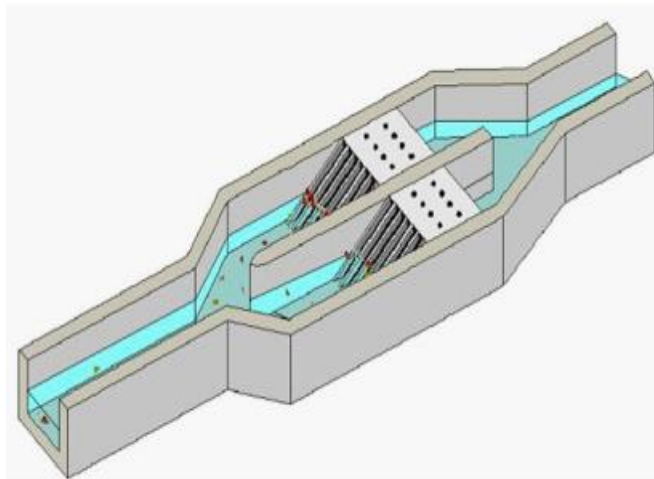


Figura 2. Canal de aproximación de la PTAR. (Belzona Inc, 2010)

b) Cribado.

El cribado en la ingeniería es el proceso que se encarga de separar o retener materiales de acuerdo con su tamaño. Se filtra materiales con la finalidad de cumplir con ciertos requisitos específicos. Permiten el paso del agua, pero no de la basura tales como trapos o palos. La basura es recolectada y luego se dispone de ella (Belzona Inc, 2010).

- **Rejas gruesas.** - Son redes usualmente de metal o también placas con aperturas que se conocen como rejillas o cribas, su separación comúnmente es entre 5 cm y 10 cm por lo general se encargan de separar materiales grandes para el tratamiento residual del agua (Quiroz et al., 2019).

- **Rejas medias.** - Son redes usualmente de metal o también placas con aperturas que se conocen como rejillas o cribas de tamaño medio, su separación por lo general es entre 1.5 cm y 5 cm por esta razón se encargan de separar materiales medianos para el tratamiento residual del agua (Quiroz et al., 2019).
- **Rejas finas.** - Son redes usualmente de metal o también placas con aperturas que se conocen como rejillas o cribas de tamaño fino, su separación por lo general es inferior a 1.5 cm por lo general se encargan de separar los materiales más finos para el tratamiento residual del agua (Quiroz et al., 2019).



Figura 3. Imagen de cribas automáticas (Torto, s. f.)

c) Desarenador.

Es toda estructura hidráulica que se encarga de separar las partículas que se encuentran del agua de cierto tamaño. El desarenado tiene por objeto extraer del agua bruta la grava, arena y partículas minerales más o menos finas con el fin de evitar que se produzcan sedimentos en los canales y conducciones, para proteger las bombas y otros aparatos contra la abrasión y para evitar sobrecargas en las siguientes etapas de tratamiento (Quiroz et al., 2019).

- **Desarenador de flujo horizontal.** - Son estructuras diseñadas para poder separar los sólidos del agua, esta ingresa al desarenador por una entrada ubicada en algún extremo por lo cual el flujo de agua va a circular a lo largo de un canal de forma horizontal, con una velocidad controlada, es decir;

esto permitirá que los sedimento se asienten en el fondo del canal lo que permitirá que las partículas más grandes se puedan asentar que es la función de este desarenador. La mayor parte de la arena que entra en el afluyente (agua cruda no tratada), se quedará en el desarenador para ser recolectada. La arena en el agua residual no pasará hacia las demás unidades como las bombas y los clarificadores (Hernández, s.f.).

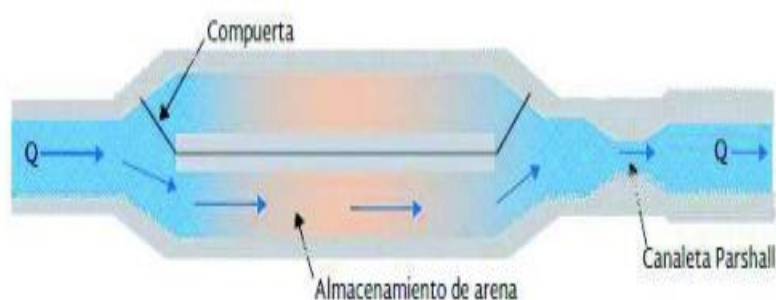


Figura 4. Imagen de desarenador de flujo horizontal (Valles, s. f.)

- **Desarenador aireado.** - Según (Collahuazo, 2022) usando dispositivos aireados de remoción de sedimentos, se suministra aire a través de un difusor ubicado en el costado del tanque a medida que las aguas residuales pasan a través del tanque, creando un patrón de flujo en espiral en las aguas residuales. La entrada y la salida de la ranura están posicionadas para dirigir el flujo perpendicular a la forma helicoidal. La velocidad de los rodillos es suficiente para mantener en suspensión las partículas orgánicas más ligeras y asentar las partículas de arena más pesadas por lo que podemos decir que el desarenador aireado es un tipo de desarenador que con la ayuda de un compresor de aire o una bomba puede realizar el proceso de separación de las partículas sólidas del agua, permitiendo que en el proceso de separación al introducir el aire en el flujo de agua se creen burbujas de aire que permiten que las partículas más ligeras floten en la superficie mientras que las partículas más pesadas como arena y sedimentos reposen en la superficie del desarenador, este es un proceso muy eficaz al momento de realizar la separación de partículas sólidas del agua.

d) Trampa de grasas.

Como lo menciona (Ordóñez y Quezada., 2023), consisten en un tanque rectangular donde por medio de flotación natural (densidad) o forzada, las partículas de grasa y aceite son transportadas a la superficie y luego removidas por medio de un desarenador. La función principal de la trampa de grasa es que estos materiales que se retienen en la superficie lleguen a las siguientes etapas.

2.1.4.2 Tratamiento Primario

El tratamiento primario es la fase que sigue al pretratamiento y se encarga de la eliminación de sólidos sedimentables (SS) y sólidos suspendidos totales (SST) mediante procesos físicos. Su objetivo es remover, a través de medios físicos o mecánicos, una parte sustancial del material sedimentable o flotante. Además, este proceso también reduce de manera significativa la carga orgánica, logrando remover entre el 25% y el 40% de la carga contaminante biodegradable (DBO) y entre el 50m% y el 65 % de los sólidos suspendidos. Entre las operaciones primarias más comunes se citan sedimentación primaria, clarificadores, flotación, filtros gruesos (Rojas, 2002).

e) Fosa Séptica

(Torres, 2023), nos indica que la fosa séptica está estructurada como una cámara la cual capta el agua residual para tratarla y después regresarla al medio en el mejor estado posible, este método se puede aplicar en lugares poco poblados los cuales disponen agua de agua potable y en sí de zonas rurales. El procedimiento de la fosa es sencillo busca separar los sólidos suspendidos, las grasas y los líquidos.

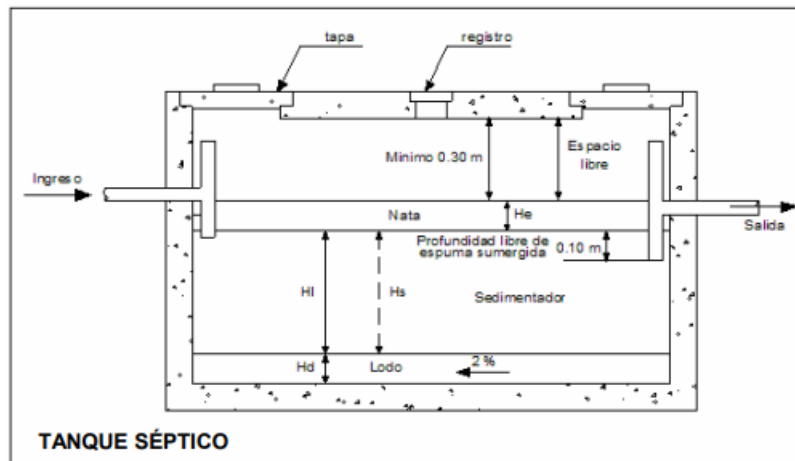


Figura 5. Fosa Séptica (OPS, 2015).

f) Sedimentador primario.

Es un equipo utilizado para el tratamiento de aguas servidas. Involucra la evacuación de tanta materia sólida remanente como sea posible. El drenaje fluye hacia grandes tanques llamados Tanques de Sedimentación Primaria donde las partículas más pequeñas se asientan en el fondo. Un Lodo Primario o Lodo Crudo es barrido por rastreadores eléctricos hacia una tolva y luego es bombeado a la planta de asimilación de lodos. El líquido restante llamado Efluente Primario pasa a un tratamiento secundario o proceso de sedimentación secundario (Belzona Inc, 2010).

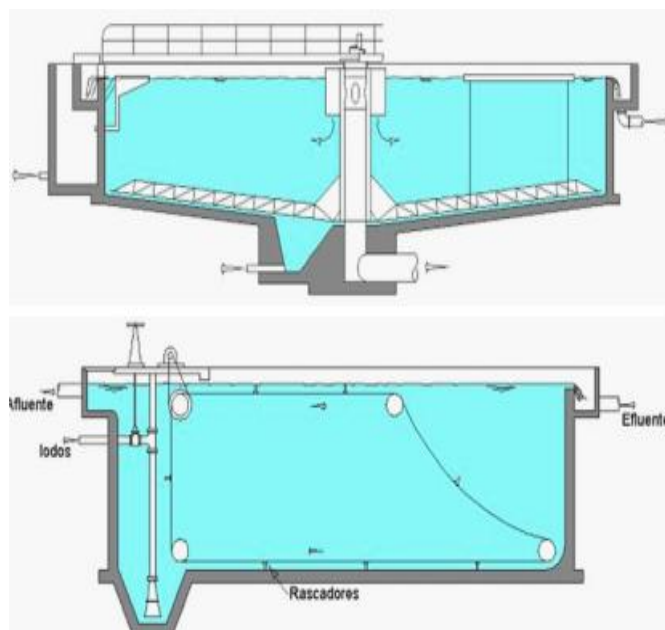


Figura 6. Sedimentador primario (Belzona Inc, 2010).

g) Tanques Imhoff.

Es un tipo de tratamiento de aguas residuales que se usa con la finalidad de eliminar sólidos y materia orgánica del agua con un sistema que implementa dos cámaras, la primera cámara que es la encargada de retener los sólidos y las partículas más pesadas se asientan en el fondo y la segunda cámara que es donde el lodo que se forma en el fondo se descomponga. El tanque Imhoff es una unidad de tratamiento primario cuya finalidad es la remoción de sólidos suspendidos (Aguay, 2016).

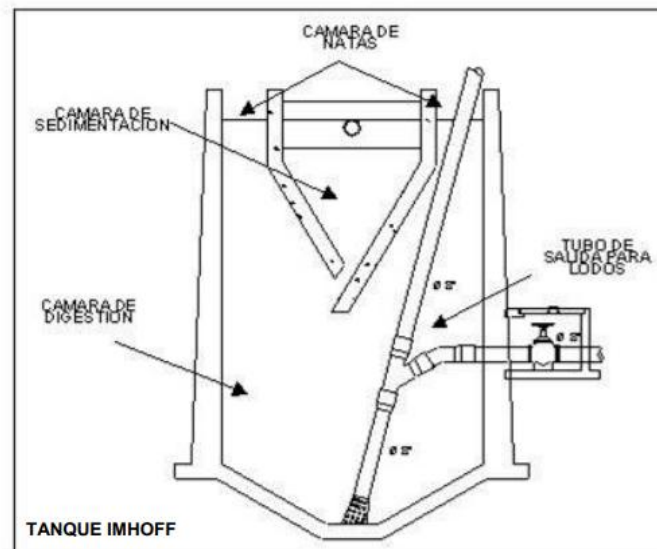


Figura 7. Tanque Imhoff (OPS, 2015).

2.1.4.3 Tratamiento Secundario

El tratamiento secundario es un proceso biológico que se centra en la depuración de compuestos orgánicos presentes en el agua residual. Este proceso incluye una sedimentación secundaria, cuyo objetivo es la degradación y eliminación de la materia orgánica biodegradable. Durante este tratamiento, la materia orgánica disuelta se convierte en sólidos sedimentables floculantes que pueden ser separados por tanques de decantación (Rojas, 2002).

Las operaciones habituales de tratamiento biológico son la filtración biológica, lodos activados, lagunas de estabilización y aireadas, así como tratamientos que utilizan oxígeno puro y procesos anaeróbicos. Estas técnicas promueven el crecimiento de microorganismos a través de la inyección de oxígeno, los cuales asimilan las cargas de

materia orgánica no sedimentable y las transforman en dióxido de carbono, agua y materia estable (Rojas, 2002).

h) Humedales artificiales.

Son sistemas construidos por el hombre con la finalidad de realizar el proceso de depuración de las aguas residuales, a través de diferentes métodos ecológicos con la ayuda de plantas acuáticas. Los humedales artificiales se pueden construir con un grado de control mucho mayor que los sistemas naturales, permitiendo así el establecimiento de experimentos instalaciones de tratamiento con composición bien definida de sustrato, tipo de vegetación y patrón de flujo (Molina y Quille, 2024).

- **Humedales Verticales.** Es uno de los tipos de humedales subsuperficiales para el tratamiento de aguas residuales, las aguas infiltran verticalmente a través de un sustrato inerte (arenas, gravas) y se recogen en una red de drenaje situada en el fondo del humedal. La aplicación de agua se efectúa de forma intermitente, para preservar y estimular al máximo las condiciones aerobias. La vegetación emergente se planta también en este medio granular. A diferencia del humedal subsuperficial de flujo horizontal, el sustrato está constituido por varias capas, encontrándose las más finas en la parte superior, aumentando el diámetro de la grava hacia abajo (Delgadillo et al., 2010).
- **Humedales Horizontales.** Los humedales construidos de flujo horizontal constituyen una tecnología de tratamiento de aguas residuales basada en la infiltración y percolación del agua a través de un medio poroso, compuesto por material granular y raíces de plantas. Este sistema, caracterizado por una profundidad máxima de 60 cm y una ligera pendiente, favorece el flujo laminar del agua, asegurando una adecuada depuración. Con el fin de prevenir la contaminación de los acuíferos subyacentes, los lechos se aíslan del suelo mediante una capa impermeable (Arias y Brix, 2003).



Figura 8. Fotografía de Humedales artificiales en Sevilla, 2024.

i) Clarificador secundario.

Es una parte fundamental del proceso de tratamiento de aguas residuales en la cual se separan los sólidos de los microorganismos en el agua residual después del proceso biológico, es una unidad de tratamiento que remueve partículas por medio de la gravedad (Arias, 2021)

j) Filtro percolador.

Es un tipo de tratamiento de aguas residuales que nos permite eliminar organismos contaminantes a través de procesos biológicos, se aplica mediante rociadores o tubos con aberturas cuyo efluente se cuela a través de material filtrante; durante esta fase de percolados procesos como la filtración, conversión biológica y absorción, eliminan los contaminantes (Ormaza y Ortiz, 2020).

2.1.4.4 Tratamiento Terciario

Los tratamientos terciarios, también conocidos como tratamientos de pulido, son procesos adicionales que se aplican a las aguas residuales una vez completado el tratamiento secundario. Estos procesos tienen como finalidad obtener efluentes de alta calidad que cumplan con las normativas establecidas para su posterior reutilización o descarga en cuerpos de agua. Los tratamientos terciarios se centran en la eliminación

de nutrientes (nitrógeno y fósforo), metales pesados y otros contaminantes, así como en la reducción de la carga orgánica residual. Entre las tecnologías utilizadas se encuentran la filtración, la nitrificación, la desnitrificación, la adsorción en carbón activado y los procesos de oxidación avanzada (Castillo y Díaz, 2022).

2.2 Marco Metodológico

La metodología que se aplicó en este proyecto es el método de cascada, es una forma de gestionar proyectos de manera ordenada, avanzando paso a paso. En este enfoque, cada etapa del proyecto debe completarse antes de comenzar la siguiente, lo que garantiza que todo esté bien hecho antes de seguir adelante. Entre las ventajas del método en cascada, se destacan su simplicidad en la administración y dirección del proyecto, ya que cada fase tiene entregables claros y un proceso de revisión sencillo. También facilitó la planificación y programación, dado que los requisitos del proyecto se definieron al inicio. (Aguirre y Aguirre, 2021)

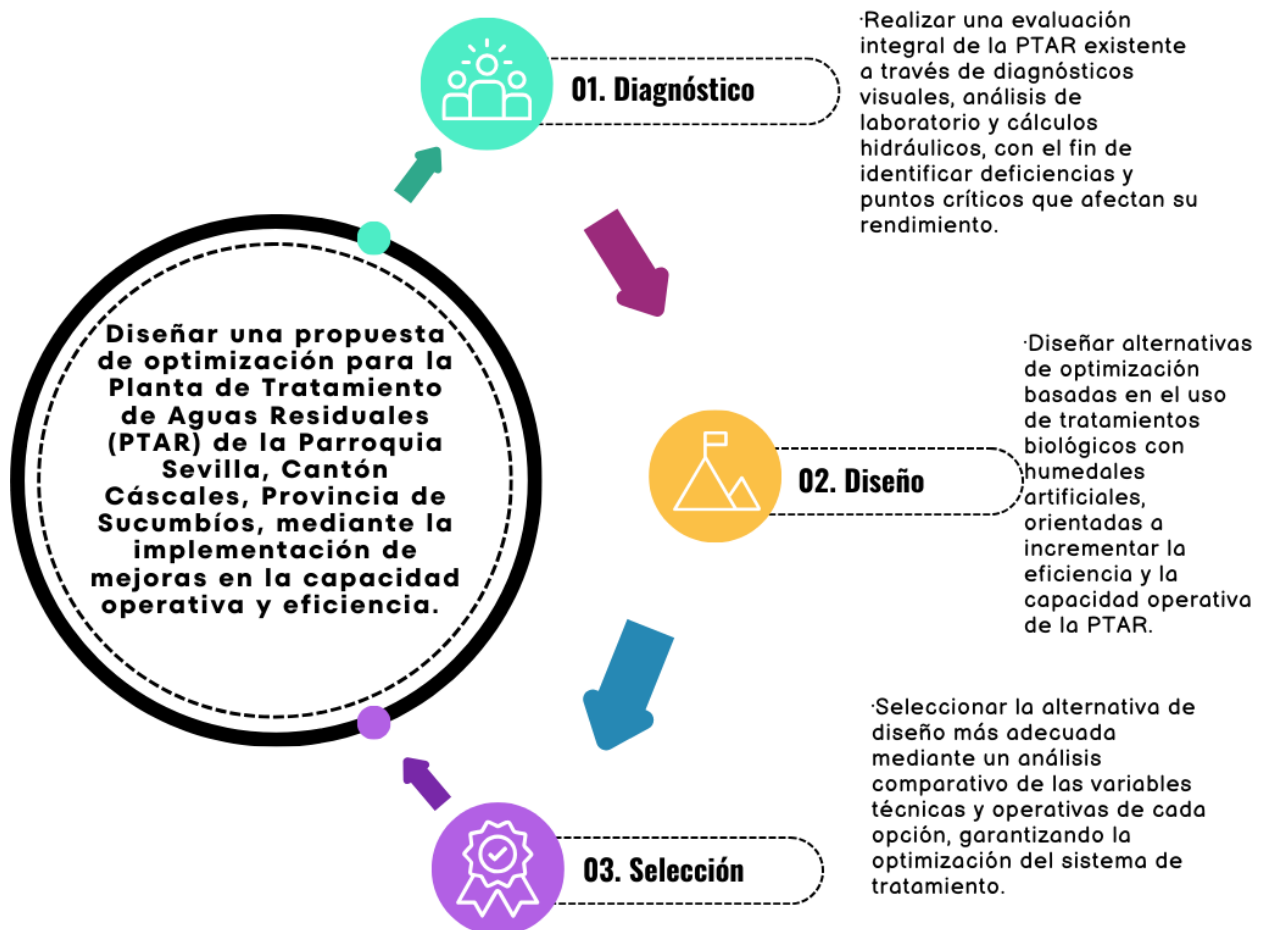


Figura 9. Metodología Cascada.

2.2.1 Diagnóstico de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

Como primera etapa del diagnóstico de la PTAR, se estableció contacto con el Gobierno Autónomo Municipal del Cantón Cáscales (GADM) para obtener información de primera mano sobre la operación y mantenimiento de la planta. Se realizaron múltiples visitas a las instalaciones, tanto de manera autónoma como acompañados por el personal del GADM, con el objetivo de realizar una observación detallada de las condiciones existentes y recopilar las principales inquietudes del equipo operativo.

Paralelamente, se solicitó al GADM los estudios de caracterización previamente realizados a la PTAR y se complementó esta información con nuevos análisis de agua llevados a cabo en laboratorios externos. Finalmente, se procedió a determinar la capacidad de tratamiento de la planta mediante el análisis de los datos proporcionados por el GADM, los cuales fueron corroborados durante las visitas a las instalaciones.

En las siguientes secciones, se presenta un informe detallado de la metodología empleada y los resultados obtenidos en cada una de las etapas del diagnóstico.

2.2.1.1 Diagnóstico Visual de la PTAR

La planta de tratamiento de aguas residuales trata netamente las aguas provenientes del sistema de alcantarillado sanitario del casco urbano de la parroquia de Sevilla, en el cantón Cáscales, provincia de Sucumbíos, Ecuador. Cuya ubicación se muestra en la *Figura 1*.

A continuación, se presenta las tablas de observaciones que se identificaron durante las visitas realizadas a la PTAR.

k) Pretratamiento

SISTEMA DE CRIBAS.

El sistema de cribado, compuesto por dos cribas continuas en un canal de 1.25m x 5m, utiliza mallas horizontales con aperturas nominales entre 2.5 y 5 cm. La inspección visual reveló un deterioro significativo de la infraestructura:

- Oxidación severa: Las cribas presentaron un avanzado proceso de corrosión, reduciendo su vida útil y resistencia mecánica.



Figura 7. Fotografía de *cribas en estado de oxidación*.

- Desprendimiento: Se observó múltiples puntos de desprendimiento de las cribas de la estructura de hormigón, comprometiendo la integridad del sistema.
- Deformaciones: Las rejillas exhibieron ondulaciones y deformaciones que superan los límites tolerables, permitiendo el paso de sólidos (residuos no degradables) de mayor tamaño al siguiente proceso.



Figura 8. Fotografía de *cribas con deformaciones*.

- Falta de mantenimiento: Se evidenció una ausencia de un programa de mantenimiento preventivo dado al acelerado deterioro de las cribas y la reducción en su eficiencia.

I) Tratamiento primario

CAJA SEPARADOR DE CAUDALES

La caja que separa el caudal de ingreso cuenta con una base cuadrada de 1.13 metros de lado, se encuentra conectada al canal de ingreso y distribuye las aguas residuales hacia dos salidas en paralelo que alimentan la fosa séptica.

La inspección visual ha revelado las siguientes deficiencias:

- Tapa deformada: La tapa de acceso presento una deformación significativa, lo que compromete su estanqueidad y facilita la entrada de elementos extraños al sistema.
- Bisagras rotas: Las bisagras de la tapa se encontraron en estado de deterioro, imposibilitando su correcto cierre y sellado.



Figura 9. Fotografía de tapa del separador de caudales deformada y bisagras rotas.

- Obstrucción en la primera salida: La primera salida hacia la fosa séptica se encuentra completamente obstruida por una acumulación de arena y material sedimentario, lo que impide el flujo adecuado de las aguas residuales y puede generar rebosamientos.



Figura 10. Fotografía del separador de caudales con material sedimentario en el canal izquierdo.

- Sedimentación diferencial: La segunda salida presenta una menor acumulación de sedimentos en comparación con la primera, lo que sugiere una distribución desigual del flujo y una posible ineficiencia en la sedimentación de sólidos.

Estas condiciones evidenciaron un mantenimiento inadecuado de la caja de ingreso, generando los siguientes riesgos:

- Infiltración de aguas pluviales: La deformación de la tapa y el deterioro de las bisagras facilitan la entrada de aguas pluviales al sistema, diluyendo las aguas residuales y afectando la eficiencia del tratamiento.
- Riesgo de desborde: La acumulación de sedimentos y la obstrucción de las salidas pueden generar un desborde de las aguas residuales en la caja de ingreso.
- Olores desagradables: La acumulación de materia orgánica en la caja de ingreso puede generar malos olores y la proliferación de insectos y roedores.
- Contaminación del suelo: En caso de rebosamiento o filtraciones, las aguas residuales sin tratar pueden contaminar el suelo y las aguas subterráneas.

- Es fundamental realizar una limpieza a fondo de la caja de ingreso, reparar o reemplazar la tapa y las bisagras, y evaluar la necesidad de instalar un sistema de pretratamiento para retener los sólidos en suspensión antes de ingresar a la fosa séptica.

FOSA SÉPTICA

La fosa séptica cuenta con dos cámaras, cada una con dimensiones de 3.25 metros de ancho por 6.30 metros de largo y 2.60 metros de profundidad, cada cámara mantiene ingresos y salidas independientes.

La inspección visual ha revelado las siguientes deficiencias:

- Acumulación de sedimentos: Se observó una significativa acumulación de sedimentos en el fondo de ambas cámaras, lo que reduce el volumen útil de la fosa y disminuye su eficiencia.
- Presencia de grasas y sólidos flotantes: La superficie del líquido presente en la fosa está cubierta por una capa de grasas y sólidos flotantes, lo que indica una sobrecarga orgánica y la posible bioacumulación durante el tiempo por falta de mantenimiento.



Figura 9. Fotografía fosa séptica con presencia de residuos no degradables.

- Desechos sólidos: Se detectó la presencia de desechos plásticos y orgánicos en descomposición, lo cual es indicativo de un inadecuado funcionamiento en el pretratamiento de las aguas residuales antes de ingresar a la fosa séptica.

- Deterioro de las tapas: Las bisagras de las tapas de acceso se encuentran en mal estado, lo que dificulta su apertura y cierre, y compromete la seguridad del sistema.



Figura 10. Fotografía fosa séptica tapas en mal estado.

- Infiltraciones y vegetación: La presencia de vegetación en la estructura de hormigón indica la existencia de filtraciones y humedad, lo que puede acelerar el deterioro de la fosa y generar problemas de estabilidad.
- Desequilibrio en el flujo: Se ha observado un mayor flujo en una de las cámaras en comparación con la otra, lo cual, sumado a la obstrucción detectada en la caja de ingreso, sugiere un desequilibrio en la distribución del flujo y una posible reducción en la eficiencia del tratamiento.

Estas condiciones evidencian un mantenimiento inadecuado de la fosa séptica, generando los siguientes riesgos:

- Reducción de la capacidad de tratamiento: La acumulación de sedimentos y sólidos reduce el volumen efectivo de la fosa y disminuye su capacidad para tratar las aguas residuales.
- Riesgo de rebosamiento: La obstrucción de las salidas y la sobrecarga orgánica pueden provocar rebosamientos y la dispersión de aguas residuales sin tratar al entorno.
- Contaminación del suelo y aguas subterráneas: Las filtraciones y los posibles rebosamientos pueden contaminar el suelo y las aguas subterráneas con

patógenos y nutrientes, poniendo en riesgo la salud pública y el medio ambiente.

- Olores desagradables: La descomposición de la materia orgánica en la fosa genera malos olores y puede atraer insectos y roedores.
- Deterioro estructural: La humedad y la falta de mantenimiento aceleran el deterioro de la estructura de hormigón, reduciendo la vida útil de la fosa.
- Es fundamental realizar una limpieza y vaciado de la fosa séptica, reparar o reemplazar las tapas y las bisagras, y evaluar la necesidad de realizar una impermeabilización de la estructura.

m) Tratamiento secundario

HUMEDALES ARTIFICIALES

Los humedales artificiales, con dimensiones de 5.50 metros de ancho por 52 metros de longitud, presentan una pendiente descendente del 2.5%.

La inspección visual ha revelado las siguientes condiciones:

- Escasa vegetación: Se observó una cobertura vegetal significativamente menor a la esperada, restringida a áreas puntuales. Esta situación indica un posible mal funcionamiento del sistema, ya sea por un suministro inadecuado de agua, una calidad del agua no apta para el desarrollo de la vegetación o una combinación de ambos factores.



Figura 11. Fotografía humedal con distinta vegetación.

- Canales: En el sistema se observó canales posiblemente hechos de manera manual para liberar la saturación del humedal y permitir el flujo de agua superficialmente. Sin embargo, no se ha evaluado la eficiencia de estos canales ni su funcionalidad en el sistema.



Figura 12. Fotografía humedal con canales de agua superficiales.

- Caja de salida común: Todas las cajas de salida individuales de cada humedal convergen en una única caja final antes de desembocar al río, lo cual centraliza el punto de control y monitoreo del efluente final.
- Remoción de material granular: Se ha detectado la remoción y traslado de material granular hacia el cubeto de lodos de secado. Esta acción, puede ser fruto de la creación de los canales, es de cuidadosa observación dado que, si no se realiza de manera controlada, puede afectar la capacidad de retención de contaminantes del sistema.
- Heterogeneidad del sustrato: La presencia de agregados de diferentes tamaños en la superficie del humedal sugiere una manipulación del sustrato, lo cual podría alterar las propiedades físicas y químicas de este y afectar su capacidad de depuración.



Figura 13. Fotografía humedal con material aparentemente removido.

Estas observaciones indican que el sistema de humedales artificiales podría estar operando por debajo de su potencial, generando los siguientes riesgos:

- Reducción de la eficiencia de depuración: La falta de vegetación y la heterogeneidad del sustrato pueden disminuir la capacidad del sistema para remover contaminantes del agua.
- Desequilibrio del ecosistema: La alteración del sustrato y las condiciones hídricas pueden afectar el equilibrio del ecosistema del humedal, reduciendo su biodiversidad y capacidad de autodepuración.
- Riesgo de obstrucción: La acumulación de sedimentos y material orgánico en los canales y cajas de salida puede generar obstrucciones y reducir el flujo de agua.
- Contaminación del cuerpo receptor: Si el sistema no funciona correctamente, el efluente final podría contener niveles de contaminantes superiores a los permitidos, afectando la calidad del agua del río.

n) Estructuras complementarias

SECADO DE LODOS

La estructura del lecho de secado presenta dimensiones de 6.60 metros de ancho por 11.80 metros de largo y una pendiente descendiente de 1.4%.

La inspección visual ha revelado las siguientes deficiencias:

- Limitaciones de acceso: La altura de la estructura dificulta el acceso para realizar labores de mantenimiento y limpieza con maquinaria de tamaño reducido, lo que puede complicar la remoción de lodos y manipulación de este.
- Presencia de material granular: Se detectó la presencia de material granular en el cubeto, aparentemente removido de los humedales. Esta situación puede indicar una gestión inadecuada de los sólidos y una posible contaminación del lecho de secado.



Figura 14. Fotografía de lecho de secado de lodos.

- Crecimiento de vegetación: Se observó el crecimiento de vegetación en el lecho de lodo, lo cual es un indicador claro de un mantenimiento deficiente y de la acumulación de materia orgánica durante un período prolongado.



Figura 15. Fotografía de vegetación proliferando en el lecho de secado de lodos.

Estas condiciones evidencian un manejo inadecuado del lecho de secado, generando los siguientes riesgos:

- Reducción de la capacidad de secado: La acumulación de vegetación y material orgánico reduce la superficie de secado efectiva, disminuyendo la capacidad del lecho para deshidratar los lodos.
- Generación de malos olores: La descomposición de la materia orgánica en el lecho puede generar malos olores y atraer insectos y roedores.
- Contaminación del suelo y aguas subterráneas: Si no se realiza una gestión adecuada de los lodos y los lixiviados, existe el riesgo de contaminar el suelo y las aguas subterráneas con nutrientes y patógenos.

2.2.1.2 Diagnóstico en Base a Laboratorio

Para determinar la tipología de muestreo más adecuada, se realizó una evaluación preliminar de los parámetros físico-químicos a analizar. Dada la naturaleza exclusivamente doméstica de las aguas residuales tratadas en la PTAR, se descartó la

necesidad de evaluar metales pesados y sustancias químicas infecciosas. En consecuencia, se optó por un diseño de muestreo compuesto para aquellos parámetros que requieren análisis de laboratorio. Este diseño se ajustó a los lineamientos establecidos en el Acuerdo Ministerial N° 097-A de 2015, específicamente los límites de descarga para cuerpos de agua dulce (Tabla 9), garantizando así la comparabilidad de los resultados con los estándares nacionales.

Tabla 2. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce (Tabla 9). Acuerdo Ministerial N° 097-A de 2015.

Parámetros	Expresado como	Límite Máximo Permisible	Unidad
Demanda química de oxígeno	DQO	200	mg/L
Demanda bioquímica de oxígeno	DBO ₅	100	mg/L
Echerichia coli	UFC	**	UFC/100mL
Fosfatos	P	**	mg/L
Nitrógeno Total	N	50	mg/L
Nitrógeno Amoniacal	N	30	mg/L
Nitratos (NO ₃)	NO ₃	**	mg/L
Nitratos (NO ₂)	NO ₂	**	mg/L
Potencial hidrógeno	pH	6 a 9	pH
Sólidos totales	ST	1600	mg/L
Sulfatos	SO ₄ ²	1000	mg/L
Sólidos totales suspendidos	SST	130	mg/L
Sólidos Sedimentales	SS	**	ml/L

Detalle: ** no son valores de la tabla 9.

o) Muestreo Compuesto

Se implementó un protocolo de muestreo compuesto para garantizar la representatividad de las muestras. Se recolectaron cuatro muestras simples, y para que una de las muestras se recolecto en un frasco ámbar de 1 litro, un frasco ámbar de 500ml y en un frasco estéril, siendo así un total de 3 tomas de muestras por cada punto.



Figura 16. Fotografía de frascos para la toma de muestras.

Los frascos fueron sellados herméticamente para preservar la integridad de las muestras. Para asegurar la cadena de custodia y evitar la alteración de los parámetros analíticos, las muestras se mantuvieron refrigeradas en un termo con hielo durante su transporte al laboratorio. Los puntos de muestreo seleccionados fueron M1 (pozo de ingreso a la PTAR), M2 (caja de salida de la fosa séptica), M3 (caja de salida del humedal 1) y M4 (caja de salida de la PTAR), correspondientes a etapas clave del proceso de tratamiento. Para cada punto, se recolectaron duplicados (muestra de ensayo y control) con el fin de evaluar la precisión de los análisis. Las muestras fueron enviadas a laboratorios certificados para su análisis, incluyendo el laboratorio sanitario-ESPOL.

Tabla 3. Toma de muestras para análisis de laboratorio externo.

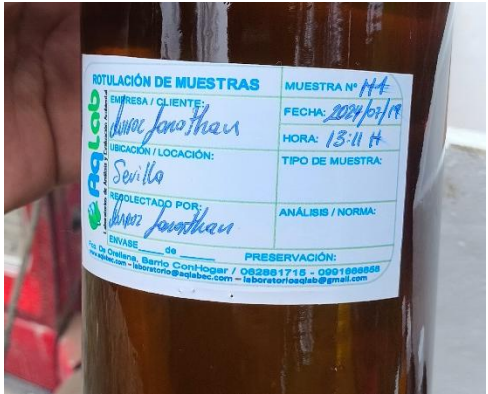
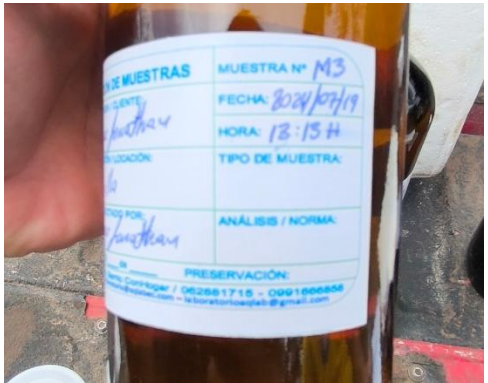
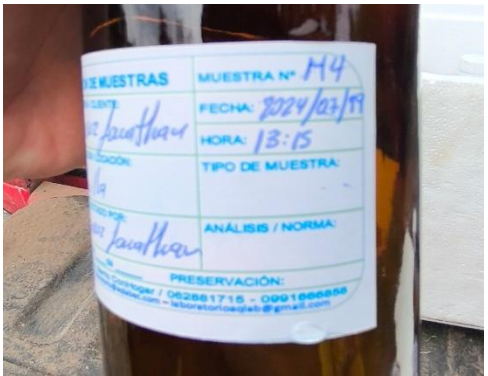
MUESTRA	Descripción	Fotografía
Pozo de ingreso a la PTAR	- Ubicación: PTAR Sevilla - Nombre: M1 - Coordenadas: 18N 264353 10245 - Clima: Nublado - Hora: 13:11 - Fecha: 19/07/2024 - Laboratorio Externo	
Caja de salida de la fosa séptica	- Ubicación: PTAR Sevilla - Nombre: M2 - Coordenadas: 18N 264438 10290 - Clima: Nublado - Hora: 13:12 - Fecha: 19/07/2024 - Laboratorio Externo	
Caja de salida del humedal 1	- Ubicación: PTAR Sevilla - Nombre: M3 - Coordenadas: 18N 264426 10348 - Clima: Nublado - Hora: 13:13 - Fecha: 19/07/2024 - Laboratorio Externo	
Caja de salida de la PTAR	- Ubicación: PTAR Sevilla - Nombre: M4 - Coordenadas: 18N 264450 10344 - Clima: Nublado - Hora: 13:15 - Fecha: 19/07/2024 - Laboratorio Externo	

Tabla 4. Toma de muestras para análisis de laboratorio ESPOL.

MUESTRA	Descripción	Fotografía
Pozo de ingreso a la PTAR	- Ubicación: PTAR Sevilla - Nombre: M1-ESPOL - Coordenadas: 18N 264353 10245 - Clima: Soleado - Hora: 10:05 - Fecha: 15/08/2024 - Laboratorio ESPOL	
Caja de salida de la fosa séptica	- Ubicación: PTAR Sevilla - Nombre: M2-ESPOL - Coordenadas: 18N 264438 10290 - Clima: Soleado - Hora: 10:09 - Fecha: 15/08/2024 - Laboratorio ESPOL	
Caja de salida del humedal 1	- Ubicación: PTAR Sevilla - Nombre: M3-ESPOL - Coordenadas: 18N 264424 10346 - Clima: Soleado - Hora: 09:49 - Fecha: 15/08/2024 - Laboratorio ESPOL	
Caja de salida de la PTAR	- Ubicación: PTAR Sevilla - Nombre: M4-ESPOL - Coordenadas: 18N 264453 10347 - Clima: Soleado - Hora: 09:56 - Fecha: 15/08/2024 - Laboratorio ESPOL	

p) Determinación del grado de eficiencia de la PTAR

La determinación de las cargas contaminantes entrantes y salientes de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) se llevó a cabo mediante un análisis cuantitativo de los datos obtenidos en la caracterización del agua residual. Los resultados de los análisis de laboratorio, expresados en unidades de concentración, se multiplicaron por el caudal de ingreso a la planta para obtener las respectivas cargas contaminantes. Esta operación se formalizó mediante la aplicación de una ecuación específica:

(Ecuación 1)

$$\text{Carga contaminante} = Q * C$$

Donde:

Carga contaminante (g/día)

Q= Caudal (m³/día)

C= Concentración (DBO, DQO, SST)

Adicionalmente, se evaluó el grado de eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales de Sevilla a través de la siguiente ecuación:

(Ecuación 2)

$$\eta = \frac{F_z - F_a}{F_z} * 100$$

Donde:

η = Grado de eficiencia en %

F_z= Cargas contaminantes que ingresan a la planta de tratamiento

F_a= Cargas contaminantes que salen de la planta de tratamiento

2.2.1.3 Diagnóstico en Base al Cálculo Hidráulico

El Diagnóstico en base al cálculo hidráulico permitió evaluar el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales. Para este proceso se realizó cálculos hidráulicos que permitieron establecer el estado actual de la PTAR y los problemas potenciales del sistema, especialmente en lo que refiere al volumen necesario de la fosa séptica y el área de los humedales artificiales en base al caudal que ingresa a la PTAR. Para llevar a cabo el diagnóstico hidráulico, se siguieron los siguientes pasos:

q) Población

Según el INEC (2022), la poblacional actual a nivel de la Parroquia de Sevilla es de 3.106 habitantes. Sin embargo, para el GAD del Municipio de Cáscales la población del casco urbano de Sevilla es de 1600 habitantes para el año 2024, mismo dato que resulta a partir de la tasa de crecimiento poblacional anual 2010-2022, según la parroquia de Sevilla. Siendo esta tasa de crecimiento promedio anual de 1.14%.

Tabla 5. Tasa de crecimiento promedio anual 2010-2022, según parroquia (INEC, 2022).

Provincia	Cantón	Parroquia	Población 2010	Población 2022	Tasa de crecimiento promedio anual 2010-2022
Sucumbíos	Cáscales	El Dorado de Cáscales	7482	3801	-5.64
		Santa Rosa de Sucumbíos	783	603	-2.18
		Sevilla	2708	3106	1.14
		Nueva Troncal		4234	

r) Caudales de diseño

Con el fin de establecer los caudales de diseño requeridos, se siguió rigurosamente el marco normativo establecido en el Código Ecuatoriano de la Construcción, Parte IX. Específicamente, se aplicaron los criterios y estándares técnicos definidos para el dimensionamiento de sistemas de disposición de aguas residuales. Asimismo, se empleó un enfoque cuantitativo basado en el concepto de dotación per cápita, el cual permitió estimar el caudal medio generado por cada habitante. Los valores numéricos obtenidos de estos cálculos se presentan de manera detallada en la Tabla 6.

Tabla 6. Dotaciones recomendadas (Senagua, 1992).

POBLACIÓN (habitantes)	CLIMA	DOTACIÓN MEDIA FUTURA (l/hab/día)
Hasta 5000	Frío	120-150
	Templado	130-160
	Cálido	170-200
5000 a 50000	Frío	180-200
	Templado	190-220
	Cálido	200-230
Más de 50000	Frío	>200
	Templado	>220
	Cálido	>230

s) Caudal medio de agua residual

Con el fin de estimar el caudal medio de agua residual, se adoptó un valor de dotación per cápita de 130 litros por habitante y día, un valor que se encuentra alineado con las características climáticas templadas de la cabecera parroquial de Sevilla y que ha sido establecido por el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de Cáscales. Este valor de dotación se utilizó como base para realizar los cálculos correspondientes a través de la siguiente expresión matemática:

(Ecuación 3)

$$Q_m = \frac{f * P * Dot}{86400}$$

Donde:

Q_m = Caudal medio de agua residual (m³/s)

f = Factor de retorno

P = Población actual (hab)

Dot = Dotación per cápita de agua por habitante (l/hab/día)

t) Caudal doméstico de diseño

El caudal doméstico de diseño se determinó con ayuda del factor de Harmon, para lo cual es necesario determinar el coeficiente de flujo máximo cuyo resultado está en el rango de $2 \leq F \leq 4$ según Harmon.

Para calcular el caudal máximo horario, se utilizó la siguiente expresión:

(Ecuación 4)

$$Q_{dom} = F * Q_m$$

Donde:

Q_{dom} = Caudal máximo horario (m³/s)

F = Coeficiente de flujo máximo (Harmon)

Q_m = Caudal medio de agua residual (m³/s)

u) Caudal institucional

El caudal institucional se determina mediante la recopilación de datos sobre el consumo de agua de las diferentes instituciones. Para pequeñas instituciones situadas en áreas residenciales, se puede calcular la contribución de aguas

residuales basándose en los valores por unidad de área institucional que se muestra en la *Tabla 7*.

Tabla 7. Contribución institucional (EPMAAP-Q, 2009).

Nivel de complejidad del sistema	Contribución Institucional (L/s*hab)
Cualquier	0,4 – 0,5

v) Caudal de infiltración

De acuerdo con la norma EPMAAP-Q (2009), el caudal de infiltración se determina a través de mediciones nocturnas cuando el consumo de agua es mínimo, y sin que haya presencia de lluvia. Sin embargo, en dicha norma se estipula que el aporte se puede establecer en base a los valores de la *Tabla 8* de Tasas de infiltración, donde las medidas en alta, media y baja se relaciona con las características topográficas, de suelo, niveles freáticos y precipitación.

Tabla 8. Tasas de infiltración (EPMAAP-Q, 2009).

Nivel de complejidad del sistema	Infiltración alta (l/s-ha)	Infiltración media (l/s-ha)	Infiltración baja (l/s-ha)
<i>Bajo y medio</i>	0,1 – 0,3	0,1 – 0,3	0,05 – 0,2
<i>Medio alto y alto</i>	0,15 – 0,4	0,1 – 0,3	0,05 – 0,2

w) Caudal ilícito

Se deben tener en cuenta las contribuciones de aguas pluviales al sistema de alcantarillado sanitario, que provienen de conexiones erradas de bajantes de techos y patios, conocidas como las aguas ilícitas. Para estas contribuciones deben considerarse aportes máximos de drenaje pluvial domiciliario a la red sanitaria. Para ello se utilizó la siguiente expresión:

(Ecuación 5)

$$Q_{ilic} = (Q_{dom} + Q_{ins} + Q_{inf}) * 10\%$$

Donde:

Q_{ilic} = Caudal de aguas ilícitas (m3/s)

Q_{dom} = Caudal doméstico de diseño (m3/s)

Q_{ins} = Caudal institucional (m3/s)

Q_{inf} = Caudal de infiltración (m3/s)

x) Caudal de ingreso a la PTAR

El caudal de ingreso a la planta de tratamiento se refiere a la cantidad de agua residual que entra en el sistema para ser tratada. Para determinar el caudal de ingreso, se consideró factores como el caudal doméstico de diseño, caudal institucional, caudal de infiltración y caudal de aguas ilícitas mediante la siguiente expresión:

(Ecuación 6)

$$Q_{md} = Q_{dom} + Q_{ins} + Q_{inf} + Q_{ilíc}$$

Donde:

Q_{md} = Caudal medio de diseño (m3/s)

Q_{dom} = Caudal medio de agua residual (m3/s)

Q_{ins} = Caudal institucional (m3/s)

Q_{inf} = Caudal de infiltración (m3/s)

$Q_{ilíc}$ = Caudal de de aguas ilícitas (m3/s)

y) Caracterización del agua residual influente

Para determinar la carga contaminante entrante a la planta de tratamiento, se emplearon los valores de referencia establecidos en la norma técnica para sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales, específicamente en la tabla X.1, apartado 4.3.7. Esta normativa proporciona valores característicos de los parámetros DBO5, sólidos en suspensión, amonio (NH3), nitrógeno total Kjeldahl (TKN) y coliformes totales, los cuales se utilizaron para estimar la carga contaminante asociada al caudal de agua residual ingresante.

Tabla 9. Aporte per cápita para aguas residuales domésticas (Senagua, 1992).

PARÁMENTROS	CARGA SUGERIDA (g/hab*d)
DBO5	50
DQO	100
Sólidos en suspensión	90
NH3	8.4

PARÁMENTROS	CARGA SUGERIDA (g/hab*d)
TKN	12
Coliformes totales	$2 * 10^{11}$

z) Volumen de la fosa séptica

Para el dimensionamiento de la fosa séptica, en primer lugar, se establece un tiempo de retención hidráulico que, junto con el caudal diario, se determina el volumen de agua del tanque mediante la siguiente expresión:

(Ecuación 7)

$$V_{agua} = T_H * Q_{md}$$

Donde:

V_{agua} = Volumen del agua (m³/s)

T_H = Tiempo de retención hidráulico (días)

Q_{md} = de ingreso a la PTAR (m³/día)

Según García & Corzo (2008), para asegurar el adecuado funcionamiento de una fosa séptica, es importante considerar los siguientes factores:

- Un contenido de nitrógeno amoniacal inferior a 200mg N/L, para evitar la inhibición del metabolismo bacteriano
- Un volumen de agua de dilución superior a 40 l/hab/día
- La utilización de un desengrasador cuando la concentración de grasas supere los 150 mg/L, para prevenir que estas lleguen a los humedales y obstruyan el medio granular.
- Debe existir un espacio libre sobre el nivel del agua, generalmente de 0,3m

aa) Área del humedal artificial

El dimensionamiento del humedal artificial se centra en establecer el área requerida para lograr una eliminación específica de materia orgánica. La expresión de diseño que se utiliza se fundamenta en el modelo cinético P-K-C*.

El enfoque P-K-C* es considerado el método más avanzado, ya que ofrece un diseño que incluye información más detallada sobre los coeficientes de degradación de

contaminantes, la hidráulica de los humedales y las concentraciones de fondo (Dotro et al, 2017).

Para ello se empleó la siguiente expresión para determinar la superficie del humedal.

(Ecuación 8)

$$A = \frac{P * Q}{K_A} \left(\left(\frac{C_i - C^*}{C_0 - C^*} \right)^{\frac{1}{P}} - 1 \right)$$

Donde:

A= Área del humedal (m²)

Q_{md}= de ingreso a la PTAR (m³/día)

P= Número aparente de tanques en serie

C₀= Concentración de salida de DBO₅ (mg/l)

C_i= Concentración de entrada de DBO₅ (mg/l)

C*= Concentración de fondo de DBO₅ (mg/l)

K_A= Coeficiente de degradación de primer orden basados en áreas (m/día)

2.2.2 Propuesta de mejoras para la PTAR

2.2.2.1 Área de Influencia

De acuerdo con información proporcionada por el GAD Municipal de Cáscales, el área beneficiaria abarca el casco urbano de la parroquia de Sevilla (ver Plano 1. Red Sanitaria), que se extiende sobre una superficie de 1 km². Esta delimitación es fundamental para identificar a la población que se beneficiará de la implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales, asegurando así una adecuada planificación y gestión de los recursos hídricos en la región.

2.2.2.2 Población futura

La determinación de la población futura fue un aspecto fundamental para el diseño de la PTAR. Se partió de la población actual del área de influencia y se aplicó un índice de crecimiento poblacional específico para la parroquia de Sevilla. Con el objetivo de garantizar la sostenibilidad de la infraestructura a largo plazo, se estableció un horizonte de proyección de 30 años, considerando un periodo de diseño de 25 años para la PTAR y un periodo adicional para las etapas iniciales del proyecto. El método geométrico fue

seleccionado para modelar el crecimiento poblacional debido a su capacidad para capturar patrones de crecimiento exponencial:

(Ecuación 6)

$$P_f = P_a * (1 + i)^t$$

Donde:

Pf= Población futura (hab)

Pa= Población actual (hab)

i= índice de crecimiento poblacional

t= Período de diseño

La población futura calculada a un periodo de diseño de 30 años y un índice de crecimiento poblacional de Sevilla del 1.14% es de 2248 habitantes.

2.2.2.3 Caudales de diseño

bb) Caudal medio de agua residual

Para calcular el caudal medio de agua residual proyectado, se multiplicó la población futura de diseño por la dotación media estimada de 130 litros por habitante por día. Este valor se seleccionó en función de las características climáticas templadas de la cabecera parroquial de Sevilla, que influyen en el consumo de agua de la población. La relación entre la población y la dotación de agua es fundamental para obtener una estimación precisa del caudal medio, ya que refleja las condiciones de uso del agua en la región. A continuación, se presenta la expresión utilizada para este cálculo:

(Ecuación 7)

$$Q_m = \frac{f * P_f * Dot}{86400}$$

Donde:

Q_{dom}= Caudal medio de agua residual (m3/s)

f= Factor de retorno

Pf= Población futura (hab)

Dot= Dotación per cápita de agua por habitante (l/hab/día)

cc)Caudal de ingreso a la PTAR

Para establecer el caudal futuro de ingreso a la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), primeramente, se determinó el caudal doméstico de diseño. Este cálculo se llevó

a cabo utilizando la ecuación 4, que permite estimar el caudal de aguas residuales generadas por la población proyectada en el área de influencia de la PTAR.

Una vez obtenido el caudal doméstico de diseño, se aplicó la ecuación 6 para calcular el caudal de ingreso a la PTAR. Este caudal no solo incluye las aguas residuales domésticas, sino que también considera otros caudales relevantes, como el institucional, de infiltración e ilícito (*apartado 2.2.1.3*), cuya suma resulta en el caudal de ingreso a la PTAR.

2.2.2.4 Determinación de la carga contaminante influente

Para establecer el diseño proyectado de las nuevas unidades de tratamiento, es fundamental calcular la carga contaminante que ingresa a la PTAR. Con este fin, se emplearon los valores recomendados en la Tabla 2.6 de la norma del Senagua (1992), para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes. Estos valores se utilizaron para determinar la carga contaminante de los parámetros DBO₅, DQO, SST, TKN y Coliformes Totales, considerando el caudal de agua residual que ingresará en la planta.

Para estimar el valor de carga contaminante se usaron las siguientes expresiones:

(Ecuación 8)

- $C_{DBO5} = Pf * DBO5$
- $C_{DQO} = Pf * DQO$
- $X_{SST} = Pf * SST$
- $C_{TKN} = Pf * TKN$
- $C_{Coliformes} = Pf * Coliformes\ Totales$

Donde:

C_{DBO5} , C_{DQO} , X_{SST} , C_{TKN} , $C_{Coliformes}$ = Carga de DBO₅, DQO, SST, TKN, Coliformes (kg/d)
DBO₅, DQO, SST, TKN, Coliformes Totales = Aporte per cápita de cada parámetro (g/hab*d)

2.2.2.5 Diseño hidráulico de las unidades de tratamiento

Con base en los cálculos de caudal de diseño y los parámetros de calidad del agua residual, se seleccionaron y dimensionaron unidades de tratamiento capaces de remover sólidos de gran tamaño, arenas, sólidos en suspensión y la carga orgánica expresada

como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y Demanda Química de Oxígeno (DQO). El diseño geométrico de estas unidades se ajustó a las especificaciones técnicas establecidas en el Código Ecuatoriano de la Construcción para sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes. Las unidades de tratamiento a implementar en la PTAR se definen en el siguiente esquema:

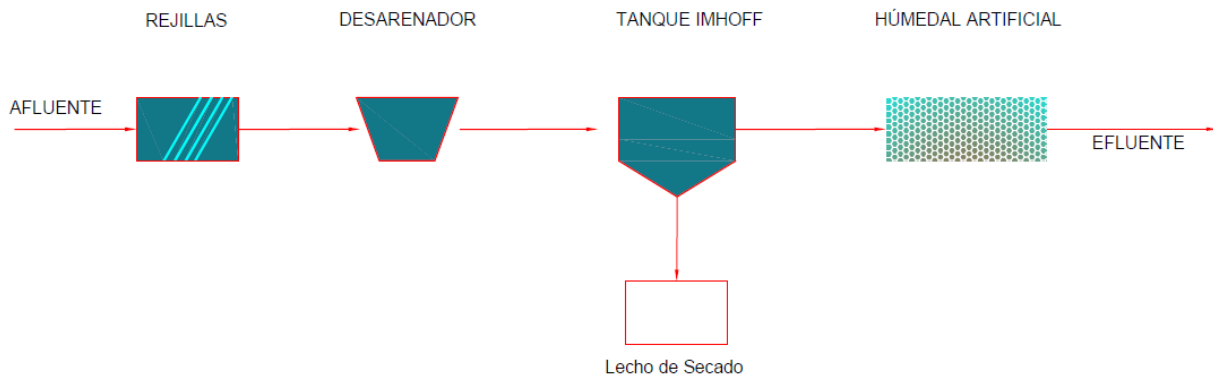


Figura 17. Esquema de las unidades de tratamiento para la PTAR Sevilla

2.2.2.6 Canal de aproximación

Se ha diseñado un canal de aproximación de sección libre, dimensionado para conducir el caudal máximo horario calculado. La geometría del canal se adaptó a las características topográficas del terreno y se ajustó a los criterios establecidos en la normativa del SENAGUA (1992). Para garantizar la protección de la planta de tratamiento ante eventos de sobrecarga hidráulica, se ha incluido un canal de desvío o vertedero auxiliar. La velocidad del flujo se determinó mediante la ecuación de Manning, empleando un coeficiente de rugosidad de 0.012, valor recomendado para canales de hormigón según Metcalf y Eddy (2014).

Las dimensiones finales del canal se obtuvieron mediante la resolución de las siguientes ecuaciones:

dd) Área del canal de aproximación

(Ecuación 9)

$$A = \frac{Q_{dom}}{V}$$

Donde:

A= Área del canal de aproximación (m²)

Q_{dom}= Caudal doméstico de diseño (m³/s)

V= Velocidad del agua (m/s)

ee) Profundidad del canal de aproximación

Considerando una relación ancho-profundidad de 1.5:1, característica de canales con secciones transversales estables, se puede expresar la profundidad del canal en función del ancho de la siguiente manera:

$$A = b * p, \quad A = 1.5b * p,$$

Se expresa de la siguiente manera:

(Ecuación 10)

$$P = \sqrt{\frac{A}{1.5}}$$

Donde:

b= Ancho del canal (m)

P= Profundidad del canal (m)

A= Área del canal (m²)

ff) Ancho del canal de aproximación

(Ecuación 11)

$$b = 1.5 * P$$

Donde:

b= Ancho del canal (m)

P= Profundidad del canal (m)

gg) Radio hidráulico

(Ecuación 12)

$$R = \frac{A}{b + 2P}$$

Donde:

R= Radio hidráulico (m)

A= Área del canal de aproximación (m²)

b= Ancho del canal de aproximación (m)

P= Profundidad del canal de aproximación (m)

hh) Velocidad del caudal de agua residual a través de Manning

(Ecuación 13)

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

Donde:

V_m = Velocidad de Manning (m/s)

n= Coeficiente de rugosidad para hormigón

R= Radio hidráulico (m)

S= Pendiente del canal de aproximación

Para el dimensionamiento definitivo del canal de aproximación, se procede a calcular las expresiones de los puntos a), b) y c) con el resultado obtenido de la velocidad de Manning

ii) Profundidad de diseño del canal de aproximación

(Ecuación 14)

$$P_d = P + h_s$$

Donde:

P_d = Profundidad de diseño del canal (m)

h_s = Altura de seguridad (0.3 m)

2.2.2.7 Sistema de Cribado

Siguiendo las especificaciones del Código Ecuatoriano de la Construcción (SENAGUA, 1992), se ha diseñado un sistema de pretratamiento compuesto por rejillas gruesas y finas, instaladas en el canal de aproximación. Este sistema tiene como objetivo retener los sólidos de gran tamaño que podrían dañar las tuberías y equipos de la planta de tratamiento. De acuerdo con la normativa, las rejillas gruesas constan de barras de 0.013 m de ancho con un espaciamiento de 0.04 m, mientras que las rejillas finas tienen barras de 0.005 m de ancho y un espaciamiento de 0.02 m. Además, se ha establecido una velocidad de flujo entre las barras de 0.4 a 0.75 m/s y una inclinación de 45° a 60° para

optimizar la eficiencia de remoción de sólidos. Las dimensiones y características de las rejillas se determinaron mediante las siguientes expresiones:

jj) Número de barras

(Ecuación 15)

$$n = \frac{b}{(a + s)}$$

Donde:

n= Número de barras

b= Ancho del canal (m)

a= Ancho de las barras (m)

s= Espaciamiento entre barras (m)

kk) Ancho efectivo del canal

(Ecuación 16)

$$be = b - (n * a)$$

Donde:

b_e= Ancho efectivo del canal (m)

ll) Área transversal

(Ecuación 17)

$$A_{sc} = p * be$$

Donde:

A_{sc}= Área transversal del canal (m²)

mm) Velocidad horizontal

(Ecuación 18)

$$v = \frac{Q_{dom}}{A_{sc}}$$

Donde:

V= Velocidad horizontal (m/s)

Q_{dom}= Caudal doméstico de diseño (m³/s)

nn) Radio hidráulico

(Ecuación 19)

$$R = \frac{A}{b + 2P}$$

oo) Velocidad de Manning

(Ecuación 20)

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

pp) Pérdida de carga en las rejillas

(Ecuación 21)

$$\Delta h = \beta * \left(\frac{e}{d}\right)^{\frac{4}{3}} * \frac{V^2}{2g} * \sin \alpha$$

Donde:

Δh = Pérdida de carga en las rejillas (m)

β = Factor de forma de las barras (2.42)

e = Espesor de las barras (m)

d = Distancia entre barras (m)

V = Velocidad del flujo de agua residual (m/s)

g = Constante de gravedad (m/s²)

α = Ángulo de inclinación de las barras

qq) Lámina de agua

(Ecuación 22)

$$h_a = \frac{Asc}{be}$$

Donde:

h_a = Altura de la lámina de agua en el canal de aproximación (m)

2.2.2.8 Desarenador de flujo horizontal

Se diseñó un desarenador de flujo horizontal, siguiendo los criterios establecidos por García & Corzo (2008). Este tipo de desarenador permite que las aguas residuales fluyan horizontalmente, facilitando la sedimentación de partículas de arena y otros sólidos en

suspensión. La configuración incluye una cámara de sedimentación que maximiza el tiempo de contacto y la eficiencia del proceso de separación.

La geometría del desarenador se estableció de acuerdo con las recomendaciones de García & Corzo (2008), buscando alcanzar un tiempo de retención hidráulica de alrededor de 60 segundos. A continuación, se detallan las relaciones y expresiones utilizadas para el dimensionamiento del desarenador.

rr) Área transversal

(Ecuación 23)

$$A_t = \frac{Q_{dom}}{V}$$

Donde:

A_t = Área transversal del canal en la zona de desarenado (m^2)

Q_{dom} = Caudal doméstico de diseño (m^3/s)

V = Velocidad horizontal del agua (m/s)

ss) Calado del canal

Para establecer el calado del canal en la sección de desarenado, se adopta un ancho teniendo en cuenta el ancho del canal de cribado. Por lo que el calado se determinó mediante la siguiente expresión:

(Ecuación 24)

$$h = \frac{A}{W}$$

Donde:

A_t = Área transversal del canal en la zona de desarenado (m^2)

Q_{dom} = Caudal doméstico de diseño (m^3/s)

V = Velocidad horizontal del agua (m/s)

tt) Largo de la zona de desarenado

(Ecuación 25)

$$L = \frac{TRH}{V}$$

Donde:

L= Longitud del canal de desbaste en la zona de desarenado (m)

TRH= Tiempo de retención hidráulica (m)

V= Velocidad horizontal (m)

uu) Carga superficial

Se comprueba que, en el caudal máximo, es decir, en el caudal máximo horario, la carga superficial se mantenga por debajo de 70 m³/m²*hora, utilizando la siguiente expresión:

(Ecuación 26)

$$C_s = \frac{Q_{dom}}{L * W}$$

Donde:

C_s= Carga superficial (m³/m²*hora)

Q_{dom}= Caudal doméstico de diseño (m³/s)

L= Longitud del canal de desarenado (m)

W= Ancho del canal de desarenado (m)

2.2.2.9 Tanques Imhoff

Para este proyecto se diseñó tanques Imhoff, que implicó un proceso detallado que comienza con el cálculo de la superficie necesaria para su correcto funcionamiento. A partir de esta superficie, se procede a definir las dimensiones de la fosa, incluyendo el ancho, longitud y profundidad de decantación, asegurando que el tanque Imhoff pueda retener adecuadamente los sólidos y permitir la sedimentación y digestión anaeróbica de los lodos (García & Corzo, 2008).

De manera que las fórmulas para su diseño se muestran a continuación:

vv)Superficie del Tanque Imhoff

(Ecuación 27)

$$S = \frac{Q_{dom}}{C_s}$$

Donde:

S= Superficie de la zona de decantación (m²)

Q_{dom}= Caudal doméstico punta diario (m³/día)

C_s= Carga hidráulica superficial punta diaria (m³/m² * h)

ww) Ancho del Tanque

(Ecuación 28)

$$W = \sqrt{\frac{S}{\text{relación } (\frac{L}{W})}}$$

Donde:

W= Ancho del tanque imhoff (m)

S= Superficie de la zona de decantación (m²)

L/W= Relación longitud: ancho (2)

xx) Longitud del Tanque

(Ecuación 29)

$$L = W * (\frac{L}{W})$$

Donde:

L= Longitud del tanque imhoff (m)

S= Superficie de la zona de decantación (m²)

L/W= Relación longitud: ancho (2)

yy) Profundidad de la zona de decantación

(Ecuación 30)

$$P = [(W - O_i)/2] * p$$

Donde:

P= Profundidad de la zona de decantación (m)

O_i= Longitud de la abertura inferior (m)

p= Pendiente de la zona de decantación (m/m)

zz) Superficie del triángulo

(Ecuación 31)

$$A_1 = \frac{(W - O_i)}{2} * P$$

Donde:

A₁= Área del triángulo (m²)

W= Ancho del tanque imhoff (m)

O_i= Longitud de la abertura inferior (m)

P= Profundidad de la zona de decantación (m)

aaa) Superficie del rectángulo

(Ecuación 32)

$$A_e = O_i * P$$

Donde:

A_e= Área del rectángulo (m²)

O_i= Longitud de la abertura inferior (m)

P= Profundidad de la zona de decantación (m)

bbb) Superficie total

(Ecuación 33)

$$A_t = 2 * A_1 + A_e$$

Donde:

A_t= Área total (m²)

A₁= Área del triángulo (m²)

A_e= Área del rectángulo (m²)

ccc) Volumen de decantación

(Ecuación 34)

$$V_{dec} = (h_{deflector} * S) + (A_t * L)$$

Donde:

V_{dec}= Volumen de la zona de decantación (m³)

H_{deflector}= Altura de la zona sumergida del deflector (m)

S= Superficie de la zona de decantación (m²)

A_t= Área total (m²)

ddd) Velocidad horizontal

(Ecuación 35)

$$V_{punta\ h} = \frac{Q_{punta\ h}}{A_t * 60}$$

Donde:

V_{punta h} = Velocidad horizontal punta horaria (m/min)

Q_{puntah} = Caudal punta horario (m^3/s)

A_t = Área total (m^2)

eee) Tiempo de retención hidráulica

(Ecuación 36)

$$T_h = \frac{V_{dec} * 24}{Q}$$

Donde:

T_h = Tiempo de retención hidráulica (h)

V_{dec} = Volumen de la zona de decantación (m^3)

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

fff) Superficie total del tanque

(Ecuación 37)

$$S_t = (1 + \%S_{gas}) * S_{dec}$$

Donde:

S_t = Superficie total del tanque (m^2)

$\%S_{gas}$ = Porcentaje de la superficie de la zona de escape de gases respecto a la superficie total

S_{dec} = Superficie de la zona de decantación (m^2)

ggg) Ancho total del tanque

(Ecuación 38)

$$W_t = W_{dec} + W_{gas}$$

Donde:

W_t = Ancho total del tanque (m)

W_{dec} = Ancho de la zona de decantación (m)

W_{gas} = Ancho de la zona de escape de gases (m)

hhh) Longitud total del tanque

(Ecuación 39)

$$L_t = \frac{S_t}{W_t}$$

Donde:

L_t = Longitud total del tanque (m)

S_t = Superficie total del tanque (m²)

W_t = Ancho total del tanque (m)

iii) Volumen de lodos

(Ecuación 40)

$$V_{lodos} = \frac{VEU * T_d * N}{1000}$$

Donde:

V_{lodos} = Volumen ocupado por los lodos (m³)

VEU = Velocidad de emisión unitaria de lodos (L/hab*año)

T_d = Tiempo de digestión (años)

N = Número de habitantes (hab)

jjj) Altura de lodos

(Ecuación 41)

$$h_3 = \frac{L_t/n}{2} * Tan \alpha$$

Donde:

h_3 = Altura del fondo (en la zona piramidal) (m)

L_t = Longitud total del tanque (m)

n = Número de puntos de recogida de lodos (m)

α = Inclinación de las paredes del fondo

kkk) Altura de digestión

(Ecuación 42)

$$h_2 = \frac{V_{lodos} - \left(\frac{1}{3} * L_t * W_t * h_3\right)}{L_t * W_t}$$

Donde:

V_{lodos} = Volumen ocupado por los lodos (m³)

L_t = Longitud total del tanque (m)

W_t = Ancho total del tanque (m)

h_3 = Altura del fondo (en la zona piramidal) (m)

III) Volumen total del tanque

(Ecuación 43)

$$V = V_{resguardo} + V_{dec} + V_{lodos} + [h_1 * L_t * W_t]$$

Donde:

V= Volumen total del tanque (m³)

V_{lodos} = Volumen ocupado por los lodos (m³)

V_{dec}= Volumen de la zona de decantación (m³)

h₁ = Distancia entre la obertura inferior y la superficie del lodo acumulado

2.2.2.10 Humedal horizontal de flujo subsuperficial

Para eliminar la carga orgánica del flujo de agua residual, se implementó un sistema de humedales horizontales de flujo subsuperficial, el cual se centra en la determinación de la superficie requerida para lograr una eliminación efectiva de materia orgánica. Para ello, se utilizará una ecuación de diseño que se fundamenta en el modelo cinético P-K-C* García & Corzo (2008).

mmm) Área superficial del humedal

(Ecuación 44)

$$S = \frac{P * Q}{K_A} \left(\left(\frac{C_i - C^*}{C_0 - C^*} \right)^{\frac{1}{P}} - 1 \right)$$

Donde:

S= Área del humedal (m²)

Qmd= de ingreso a la PTAR (m³/día)

P= Número aparente de tanques en serie

C₀= Concentración de salida de DBO₅ (mg/l)

C_i= Concentración de entrada de DBO₅ (mg/l)

C* = Concentración de fondo de DBO₅ (mg/l)

K_A= Coeficiente de degradación de primer orden basados en áreas (m/día)

nnn) Carga orgánica superficial

Una vez establecida el área superficial del humedal, Dotro et al. (2017) sugieren asegurarse de que se cumplan tanto la carga orgánica superficial máxima como la carga hidráulica, la cual se determina con la siguiente expresión.

(Ecuación 45)

$$C_s = \frac{Q_{dom} * C_i}{S} < \frac{6gDBO_5}{m^2} * día$$

Donde:

C_s= Carga orgánica superficial (Gdbo₅/m²*día)

S=Superficie del humedal (m²)

Q_{dom}= Caudal doméstico de diseño (m³/s)

C_i=Concentración de materia orgánica de entrada al humedal (mg DBO₅/L)

ooo) Carga hidráulica

(Ecuación 46)

$$C_H = \frac{Q_{dom}}{S}$$

Donde:

C_H= Carga hidráulica (L/día)

S=Superficie del humedal (m²)

Q_{dom}= Caudal doméstico de diseño (m³/s)

ppp) Ancho del humedal

(Ecuación 47)

$$W = \sqrt{\frac{S}{relación \left(\frac{L}{W}\right)}}$$

Donde:

W= Ancho del humedal (m)

S=Área del humedal (m²)

Relación (L/W)= relación largo ancho del humedal

qqq) Superficie transversal del humedal

(Ecuación 48)

$$S_t = W * h$$

Donde:

S_t =Superficie transversal del humedal (m^2)

W = Ancho del humedal (m)

h = Profundidad del medio granular del humedal (m)

rrr) Carga orgánica transversal del humedal

Una vez calculada el área transversal, se comprueba si se cumple con el requisito de carga orgánica transversal recomendado por Dotro et al. (2017), el cual se expresa en la ecuación 36.

(Ecuación 49)

$$C_t = \frac{C_{org}}{S_t} < \frac{250gDBO_5}{m^2} * día$$

Donde:

C_{org} =Carga orgánica de entrada ($gDBO_5/día$)

S_t = Superficie transversal del humedal (m^2)

C_t = Carga orgánica transversal ($gDBO_5/m^2 * día$)

sss) Superficie transversal del humedal

Si se cumple con la condición anterior, es necesario comprobar que el S_t sea mayor o igual a la requerida por el dimensionamiento hidráulico calculada a través de la siguiente expresión:

(Ecuación 50)

$$S_t = \frac{Q_{dom}}{K_s * s}$$

Donde:

S_t =Superficie transversal del humedal (m^2)

Q_{dom} = Caudal doméstico de diseño ($m^3/día$)

K_s = Conectividad hidráulica del medio poroso en una unidad de sección perpendicular a la dirección del flujo ($m^3/m^2*día$)

S = gradiente hidráulico (m/m)

ttt) Largo del humedal

(Ecuación 51)

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

Donde:

L=Largo del humedal (m)

S= Área superficial del humedal (m²)

W= Ancho del humedal (m)

uuu) Ancho del humedal

(Ecuación 52)

$$W = \frac{S_t}{h}$$

Donde:

W= Ancho del humedal (m)

h= Altura del sustrato en el humedal (m)

vvv) Dimensionamiento de celdas

(Ecuación 53)

$$W_c = \frac{L}{h_{relación} \left(\frac{L}{W} \right)_c}$$

Donde:

W_c= Ancho de cada celda (m)

L=Largo del humedal (m)

Relación (L/W)_c = relación largo/ancho de las celdas, se recomienda mínimo 1:1

www) Número de celdas

(Ecuación 54)

$$n = \frac{W}{W_c}$$

Donde:

n= Número de celdas en paralelo

xxx) Tiempo de retención hidráulica

(Ecuación 55)

$$TRH = \frac{V}{Q_{dom}}$$

Donde:

TRH= Tiempo de retención hidráulico (días)

V= Volumen del humedal (m³)

Q_{dom}= Caudal doméstico de diseño (m³/día)

yyy) Volumen del humedal

(Ecuación 56)

$$V = S * h * n$$

Donde:

V= Volumen del humedal (m³)

S= Área superficial del humedal (m²)

n= Porosidad del medio granular (porcentaje expresado en fracción)

2.2.2.11 Humedal de flujo vertical

Como una alternativa al diseño de humedales de flujo horizontal, se propone el uso de humedales de flujo vertical para lograr efluentes nitrificados.

En estos sistemas, la circulación del agua es vertical y ocurre en pulsos, lo que implica que el medio granular no está permanentemente inundado. La profundidad del medio granular oscila entre 0,5 y 0,8 m, y operan con cargas aproximadas de 20 g DBO/m² · día. El diseño del área de los humedales de flujo vertical se calcula a partir de las cargas hidráulica y orgánica como se muestra a continuación (García & Corzo, 2008).

zzz) Carga orgánica

(Ecuación 57)

$$C_{org} = Q_m * DQO$$

Donde:

C_{org} = Carga orgánica (g DQO/ d)

Q_m = Caudal medio de diseño (m^3/s)

DQO= concentración de DQO en el efluente del tratamiento primario (g DQO/ m^3)

aaaa) Área superficial del humedal

(Ecuación 57)

$$S = \frac{COD_o}{C_{org/m^2}}$$

Donde:

S= Área superficial del humedal (m^2)

C_{org/m^2} = Carga orgánica máxima por unidad de superficie (g DQO/d * m^2)

COD_o = Carga orgánica de entrada (g DQO/d)

bbbb) Carga hidráulica máxima superficial

Para asegurarse de que el área calculada cumple con la carga hidráulica máxima por unidad de superficie, se lleva a cabo la verificación del tratamiento según sea el nivel del humedal del diseño.

(Ecuación 58)

$$HLR = \frac{Q_m}{S} < 0.08 \frac{m^3}{m^2} * día$$

(Ecuación 59)

$$HLR = \frac{Q_m}{S} < 0.12 \frac{m^3}{m^2} * día$$

cccc) Número de celdas del humedal

(Ecuación 60)

$$n = \frac{S}{S_c}$$

Donde:

n= Número de celdas del humedal

S_c = área de cada celda (recomendada 400 m^2)

dddd) Ancho del humedal

$$W = \frac{S_c}{h} \quad (\text{Ecuación 61})$$

Donde:

W= Ancho de la celda (m)

S_c= área de cada celda (m²)

eeee) Largo del humedal

$$L = \left(\frac{L}{W} \right) * W \quad (\text{Ecuación 62})$$

Donde:

L= Largo de la celda (m)

(L/W) = relación largo/ancho

ffff) Cálculo del tanque dosificador

Para establecer el volumen del tanque dosificador se calcula en función del intervalo de carga elegido para el sistema vertical con la siguiente expresión.

$$V_{\text{tanque dos}} = \frac{Q_m}{\frac{24 h}{\text{Intervalo de carga}}} \quad (\text{Ecuación 63})$$

Donde:

V_{tanque dos}= Volumen del tanque dosificador (m³)

Q_m= Caudal medio de diseño (m³/s)

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Diagnóstico Actual

3.1.1 Eficiencia de la PTAR

La eficiencia de la PTAR se evaluó mediante la medición de parámetros químicos en el efluente.

En la *Tabla 10*, el análisis de las cuatro muestras de agua (M1, M2, M3 y M4) reveló una variabilidad significativa en los parámetros evaluados. Si bien algunos resultados se encontraron dentro de los límites permisibles, se identificaron patrones preocupantes. Los niveles de demanda química y bioquímica de oxígeno sugieren la presencia de materia orgánica, mientras que las altas concentraciones de *Escherichia coli* en las muestras M1 y M2 evidencian el origen del agua proveniente del alcantarillado sanitario. Además, los elevados niveles de nutrientes como fosfatos y nitrógeno en ciertas muestras indican un riesgo potencial de eutrofización. Aunque los sólidos totales y suspendidos se encuentran generalmente dentro de los rangos establecidos, es necesario realizar un análisis más detallado para determinar el impacto de estos parámetros en la calidad general del agua.

Tabla 10. Resultados de laboratorio externo.

Parámetros	Límite Máximo Permisible	Unidad	LABORATORIO EXTERNO			
			M1	M2	M3	M4
Demanda química de oxígeno	200	mg/L	125	75	<25	45
Demanda bioquímica de oxígeno	100	mg/L	46	31	4	18
Echerichia coli	**	UFC/100mL	16 x 10 ⁵	24x10 ⁴	1000	10 x 10 ⁵
Fosfatos	**	mg/L	< 1,23	1,404	1,68	1,38
Nitrógeno Total	50	mg/L	11,75	12,09	11,89	11,94
Nitrógeno Amoniacal	30	mg/L	9,35	10,4	11,2	10,8
Nitratos (NO3)	**	mg/L	10,63	7,4	<4,70	5,04
Nitratos (NO2)	**	mg/L	<0,039	0,08	0,043	<0,039
Potencial hidrógeno	6 a 9	PH	6,84	6,86	6,84	6,88
Sólidos totales	1600	mg/L	256,94	235,64	164,01	201,01
Sulfatos	1000	mg/L	58,02	34,84	<20	20,15
Sólidos totales suspendidos	130	mg/L	44	46	26	26
Sólidos Sedimentales	**	ml/L	0,7	0,8	<0,5	<0,5

En la *Tabla 11*, resultados del laboratorio ESPOL, se realizaron los análisis de los parámetros DQO y DBO₅, con el fin de verificar los resultados obtenidos en el laboratorio externo, mismos que no concuerdan con lo esperado, se puede interpretar los mismo como falencias en el sistema, es importante destacar que las dos tomas de muestras se realizaron en días diferentes, horarios diferentes, condiciones climáticas diferentes, lo que puede dar origen a la variabilidad de los resultados obtenidos. Esto se puede constatar en la *tabla 3 y 4* denominada toma de muestras para los análisis de laboratorio respectivamente.

Tabla 11. Resultados de laboratorio ESPOL.

Parámetros	Límite Máximo Permisible	Unidad	LABORATORIO ESPOL			
			M1	M2	M3	M4
Demanda química de oxígeno	200	mg/L	945	4440	86	32
Demanda bioquímica de oxígeno	100	mg/L	205	2630	24	13

A continuación, se presenta los resultados de rendimiento realizados con el caudal medio domestico determinado (*Tabla 12*) y las concentraciones obtenidas en los análisis de laboratorio.

Tabla 12. Resultado caudal medio doméstico.

Caudal medio doméstico	l/s	1,93	l/día	166752
------------------------	-----	------	-------	--------

En la *Tabla 13*, se muestran los rendimientos del tratamiento unitario Fosa Séptica, donde la carga inicial corresponde al contenido (kg/día) en el ingreso a la fosa séptica y la carga final corresponde al contenido (kg/día) en la salida de la fosa séptica. Es importante observar que, para la DQO, DBO₅, Nitrógeno Total, Nitrógeno Amoniacal y Sólidos totales suspendidos se obtiene un rendimiento negativo lo que evidencia que existe un mal funcionamiento en este proceso unitario que impide reducir su carga especialmente en los parámetros DQO y DBO₅. El aumento de la concentración de ciertos parámetros en el efluente en comparación con el influente indica una acumulación de contaminantes dentro del sistema. Si la fosa séptica está recibiendo un volumen de agua residual mayor al diseñado, se deberá evaluar la posibilidad de aumentar su capacidad o instalar un sistema de tratamiento adicional.

Tabla 13. Rendimiento del tratamiento primario, fosa séptica.

FOSA SEPTICA				
Parámetros	Unidad	Carga Inicial	Carga final	Rendimiento %
LABORATORIO ESPOL				
Demanda química de oxígeno	Kg/día	157,6	740,4	-369,8
Demanda bioquímica de oxígeno	Kg/día	34,2	438,6	-1182,9
LABORATORIO EXTERNO				
Demanda química de oxígeno	Kg/día	20,8	12,5	40,0
Demanda bioquímica de oxígeno	Kg/día	7,7	5,2	32,6
Nitrógeno Total	Kg/día	2,0	2,0	-2,9
Nitrógeno Amoniacal	Kg/día	1,6	1,7	-11,2
Sólidos totales	Kg/día	42,8	39,3	8,3
Sulfatos	Kg/día	9,7	5,8	40,0
Sólidos totales suspendidos	Kg/día	7,3	7,7	-4,5

Los resultados presentados en la *Tabla 14* revelan una alta eficiencia de los humedales artificiales en la remoción de materia orgánica, evidenciada por los elevados porcentajes de reducción de DQO y DBO. No obstante, un análisis más detallado de los datos ha puesto de manifiesto algunas inconsistencias que requieren mayor profundización. El rendimiento negativo observado en la remoción de nitrógeno amoniacal resulta

contraintuitivo y podría ser atribuido a errores en el muestreo o en los análisis, o a procesos biológicos más complejos que no han sido considerados en este estudio. Asimismo, la eficiencia en la remoción de sólidos totales y suspendidos totales, aunque significativa, sugiere la necesidad de optimizar las condiciones operativas de los humedales para mejorar la eliminación de estas fracciones.

Tabla 14. Rendimiento del tratamiento secundario, humedales artificiales.

HUMEDALES				
Parámetros	Unidad	Carga Inicial	Carga Final	Rendimiento %
LABORATORIO ESPOL				
Demanda química de oxígeno	Kg/día	740,4	14,3	98,1
Demanda bioquímica de oxígeno	Kg/día	438,6	4,0	99,1
LABORATORIO EXTERNO				
Demanda química de oxígeno	Kg/día	12,5	4,2	66,7
Demanda bioquímica de oxígeno	Kg/día	5,2	0,7	87,1
Nitrógeno Total	Kg/día	2,0	2,0	1,7
Nitrógeno Amoniacal	Kg/día	1,7	1,9	-7,7
Sólidos totales	Kg/día	39,3	27,3	30,4
Sulfatos	Kg/día	5,8	3,3	42,6
Sólidos totales suspendidos	Kg/día	7,7	4,3	43,5

Los resultados presentados en la *Tabla 15* evidencian una alta eficiencia en la remoción de materia orgánica en la planta de tratamiento, especialmente en lo que respecta a la DQO y DBO. Los elevados porcentajes de reducción obtenidos en ambos parámetros, tanto por el laboratorio ESPOL como por el laboratorio externo, indican que los procesos biológicos y físico-químicos implementados en la planta están funcionando de manera adecuada para eliminar la carga orgánica.

Sin embargo, al analizar los resultados en detalle, se observan algunas inconsistencias que requieren mayor investigación.

El aumento en la concentración de nitrógeno amoniacal en el efluente, reflejado en el valor negativo del rendimiento, resulta contraintuitivo. Esto podría indicar un error en los análisis, problemas en la toma de muestras o condiciones operativas específicas que favorezcan la formación de nitrógeno amoniacal en lugar de su eliminación.

Aunque ambos laboratorios reportan una alta eficiencia en la remoción de DQO y DBO, existen algunas diferencias numéricas en los resultados. Estas discrepancias podrían

atribuirse a variaciones en los métodos analíticos, calibración de equipos o errores en la toma de muestras.

Por otro lado, si bien se observa una reducción en la concentración de sólidos totales, el rendimiento podría ser mayor. Esto sugiere que el proceso de sedimentación y clarificación podría requerir ajustes para mejorar la eliminación de sólidos.

Tabla 15. Rendimiento de la PTAR.

PLANTA DE TRATAMIENTO				
Parámetros	Unidad	Carga Inicial	Carga Final	Rendimiento %
LABORATORIO ESPOL				
Demanda química de oxígeno	Kg/día	157,6	5,3	96,6
Demanda bioquímica de oxígeno	Kg/día	34,2	2,2	93,7
LABORATORIO EXTERNO				
Demanda química de oxígeno	Kg/día	20,8	7,5	64,0
Demanda bioquímica de oxígeno	Kg/día	7,7	3,0	60,9
Nitrógeno Total	Kg/día	2,0	2,0	-1,6
Nitrógeno Amoniacal	Kg/día	1,6	1,8	-15,5
Sólidos totales	Kg/día	42,8	33,5	21,8
Sulfatos	Kg/día	9,7	3,4	65,3
Sólidos totales suspendidos	Kg/día	7,3	4,3	40,9

Los resultados indican que, si bien la planta cumple con los estándares mínimos de tratamiento, existen áreas de mejora en la eliminación de nutrientes y sólidos suspendidos. La implementación de tecnologías adicionales podría potenciar su rendimiento y mejorar los procesos unitarios.

3.1.2 Población actual y caudales

La población actual del casco urbano de Sevilla, que asciende a 1,600 habitantes, fue obtenida a partir de la información proporcionada por el GADM de Cáscas y calculada utilizando el índice de crecimiento poblacional del INEC como se indica en la Tabla 3.2. Este aumento demográfico ha incrementado significativamente la carga de aguas residuales en la zona. En la actualidad, la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) está diseñada para tratar un caudal promedio de 1.93 l/s; sin embargo, se ha observado que el caudal real supera esta capacidad, lo que plantea desasosiegos sobre

la eficiencia del tratamiento y el riesgo de desbordamientos. Los valores de caudales se presentan la *Tabla 16*.

Tabla 16. Descripción del cálculo de caudales actuales (EPMAAP-Q, 2009).

Descripción	Símbolo	Unidad	Valor
Tasa de crecimiento poblacional de Sevilla	r		1,14%
Población actual	Pa	hab	1600
Coeficiente punta de García & Corzo	F	-	1,70
Caudal medio doméstico	Qm	l/s	1,93
Caudal doméstico de diseño	Qdom	l/s	3,27
Caudal institucional	Qins	l/s	0,00
Caudal de infiltración	Qinf	l/s	0,22
Caudal ilícito	Qilíc	l/s	0,35
Caudal ingreso PTAR	Qmd	l/s	3,84

3.1.3 Canal de aproximación y zona de rejillas

La inspección visual realizada al sistema de cribado reveló un estado de deterioro avanzado, comprometiendo significativamente su operatividad y eficiencia. La corrosión severa de las cribas, evidenciada por la oxidación generalizada, ha reducido drásticamente su vida útil y resistencia mecánica. Adicionalmente, se observaron múltiples puntos de desprendimiento de las cribas de la estructura de hormigón, lo cual compromete la integridad del sistema y podría ocasionar fallas estructurales. Las deformaciones presentes en las rejillas, superando los límites tolerables, permiten el paso de sólidos de mayor tamaño al siguiente proceso, disminuyendo la eficiencia de separación y potencialmente generando problemas en etapas posteriores. La ausencia de un programa de mantenimiento preventivo ha acelerado el deterioro de los componentes y ha contribuido a la situación actual.

3.1.4 Fosa Séptica

La fosa séptica existente ha demostrado ser ineficaz en la sedimentación de sólidos y en la descomposición de materia orgánica. Su capacidad actual de 106.47 m³ no es suficiente para atender las necesidades de la población actual ni los caudales de entrada, y mucho menos para anticipar el crecimiento futuro. Actualmente, el caudal promedio

que recibe la fosa séptica es de 331.89 m³/día, lo que impide alcanzar el tiempo de retención hidráulica mínimo de 1.5 días necesario para lograr una sedimentación adecuada; en su lugar, la retención hidráulica actual es de solo 0.76 días. Esta situación compromete la eficiencia del tratamiento y la calidad del efluente. Por lo tanto, es fundamental considerar la ampliación de la fosa séptica o la incorporación de sistemas complementarios para asegurar un tratamiento efectivo y sostenible de las aguas residuales.

A continuación, se presenta la *Tabla 17* de resultados de la fosa séptica necesaria para atender a la población actual de 1,600 habitantes.

Tabla 17. Resultados de la fosa séptica que se necesita para atender la actual demanda.

Descripción	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal ingreso PTAR diario	QMD	m ³ /día	331,89
Caudal pico	QMH	m ³ /h	11,79
Volumen de la fosa séptica	V	m ³	253,42
Tiempo de retención hidráulico	TRH	días	0,76
Volumen de la fosa séptica para un tiempo de 2 días	V	m ³	663,78

3.1.5 Humedales artificiales de flujo subsuperficial

Los humedales artificiales de flujo subsuperficial, que fueron diseñados inicialmente para la remoción de carga orgánica, no están cumpliendo con su función debido a la insuficiencia del área disponible para un tratamiento adecuado. En la actualidad, cuentan con solo un área de 1,285.2 m², mientras que, para un caudal medio de diseño de 220.92 m³/día se requiere un área de 6,004.99 m² para satisfacer la demanda actual de carga orgánica. Esta discrepancia limita significativamente su eficacia en la eliminación de contaminantes. Los resultados del área necesaria que se requiere para el tratamiento biológico se muestran a continuación.

Tabla 18. Resultados del humedal de flujo subsuperficial que se necesita para atender la actual demanda.

Descripción	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal ingreso PTAR	QMD	m ³ /día	166,4
Caudal pico	QMH	m ³ /h	11,79
P			3

Descripción	Símbolo	Unidad	Valor
Ka		md-1	0,1
[DBO5] _i	C _i	mg l-1	180
[DBO5] ₀	C ₀	mg l-1	25
[DBO5]	C*	mg l-1	5
Área del humedal	S	m ²	5294,73
Carga orgánica superficial	C _{org,s}	gDBO5/m ² d	5,66

Esta limitación en su capacidad reduce su eficacia en la eliminación de contaminantes y compromete la calidad del efluente. Por lo tanto, es fundamental considerar modificaciones en su diseño o una expansión de su área para asegurar que puedan realizar el tratamiento para el cual fueron concebidos.

3.2 Diseño de las nuevas instalaciones de la PTAR Sevilla

3.2.1 Determinación de la Caracterización del Agua Residual

Para determinar la caracterización del agua residual, se utilizaron dos métodos. En primer lugar, se aplicaron los aportes per cápita sugeridos por la normativa Senagua (1992), que proporcionan estimaciones sobre la carga contaminante generada por cada individuo, incluyendo parámetros clave como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), la Demanda Química de Oxígeno (DQO), los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y los nutrientes, como el nitrógeno. En segundo lugar, se llevó a cabo la toma de muestras en el afluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) existente, las cuales fueron analizadas en dos laboratorios acreditados: ESPOL y un Laboratorio Externo. Este enfoque permitió obtener datos precisos sobre la composición del agua residual, revelando variaciones significativas en la calidad del agua entre los distintos análisis. Los resultados obtenidos se muestran a continuación en la tabla 19.

Tabla 19. Descripción de la caracterización del agua residual

Parámetros	Límite Máximo Permisible	Unidad	Normativa Senagua (1992)	Laboratorio ESPOL	Laboratorio Externo
Demanda bioquímica de oxígeno	100	mg/L	282,81	205	46
Demanda química de oxígeno	200	mg/L	565,61	945	125
Sólidos totales suspendidos	130	mg/L	509,05		44

Parámetros	Límite Máximo Permisible	Unidad	Normativa Senagua (1992)	Laboratorio ESPOL	Laboratorio Externo
TKN	50	mg/L	67,87		12,09

En el proceso de diseño de la PTAR, se optó por utilizar los valores proporcionados por el laboratorio ESPOL. Esta decisión se fundamenta en que el análisis realizado por el laboratorio externo presentó anomalías que podrían comprometer la precisión y fiabilidad de los datos. Las discrepancias observadas en los resultados del laboratorio externo suscitaron dudas sobre la validez de las mediciones, lo que llevó a priorizar los datos de ESPOL, los cuales se consideran más consistentes y representativos de la calidad del agua residual. De este modo, se garantiza que el diseño de la PTAR se base en información sólida y confiable, asegurando una adecuada planificación y un tratamiento eficaz de las aguas residuales.

3.2.2 Población Proyectada y Caudales de Diseño

De acuerdo con la información proporcionada por el GAD Municipal de Cáscales, se estableció una población actual de 1,600 habitantes en la cabecera parroquial de Sevilla. A partir de esta cifra, se proyectó la población futura, que se estima en 2,248 habitantes al final de un período de diseño de 30 años.

Considerando los datos proporcionados por el GAD, la población futura y el clima templado de la cabecera parroquial de Sevilla, se determinó una dotación per cápita de agua de 130 L/hab*día, el mismo valor utilizado para calcular el caudal de agua residual de 2.71 L/s. Para calcular el caudal de ingreso a la PTAR, primero, se determinó el caudal doméstico de diseño, que resultó de la multiplicación del caudal de agua residual por un coeficiente punta diario de 1.7 (García & Corzo, 2008). Además, se calculó los caudales de infiltración, institucional y de aguas ilícitas en conforme a lo estipulado en la norma de diseño de sistemas de alcantarillado para la EMAAP-Q (2009). Con la suma de los resultados obtenidos del caudal doméstico de diseño, institucional, de infiltración y el caudal de aguas ilícitas, se obtuvo el resultado del caudal de ingreso a la PTAR con un valor de 10.79 L/s. Estos valores se presentan en la Tabla 20.

Tabla 20. Descripción de los caudales de diseño (EPMAAP-Q, 2009).

Descripción Caudales	Símbolo	Unidad	Valor
Coeficiente punta de García & Corzo	F	-	1.7
Caudal medio doméstico	Q_m	l/s	2,71
Caudal doméstico de diseño	Q_{dom}	l/s	4,60
Caudal institucional	Q_{ins}	l/s	0,0005
Caudal de infiltración	Q_{inf}	l/s	0,22
Caudal ilícito	$Q_{ilíc}$	l/s	0,48
Caudal ingreso PTAR	Q_{md}	l/s	4,82

3.2.3 Diseño del Canal de Aproximación

Se llevó a cabo el diseño hidráulico del canal de aproximación considerando un caudal de diseño de 10.79 L/s. Se asumió una velocidad de flujo inicial de 0.45 m/s, lo cual permitió determinar un área hidráulica de 0.02 m². A partir de esta área y considerando una relación ancho-profundidad adecuada, se obtuvo una sección transversal con una profundidad de 0.13 m y un ancho de 0.19 m. Sin embargo, con el fin de facilitar las labores de limpieza y mantenimiento, se optó por un ancho final de 0.4 m, lo que implicó recalcular la geometría del canal. Utilizando la ecuación de Manning y un coeficiente de rugosidad de 0.012, se determinó una velocidad de flujo de 0.38 m/s. Para garantizar un margen de seguridad, se adicionó una altura libre de 0.3 m a la profundidad calculada, obteniendo una profundidad total de 0.4 m. Los resultados detallados se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 21. Resumen de resultados del canal de aproximación.

Variable	Símbolo	Unidad	Valor
Área del canal con la velocidad de Manning	A	m ²	0,02
Ancho del canal estimado	b	m	0,40
Profundidad	p	m	0,04
Radio Hidráulico	R	m	0,03
Velocidad de Manning	V_m	m/s	0,27
Velocidad	V	m/s	0,29
Altura de seguridad	H_s	m	0,30
Profundidad de diseño	P_d	m	0,34

3.2.4 Diseño del Sistema de Cribado

El sistema de pretratamiento de la planta, diseñado para retener sólidos gruesos y finos, consta de cribas manuales fabricadas con barras de sección transversal de 0.01 m². Estas cribas, instaladas a una distancia de 1.50 m entre sí, se componen de 8 barras

gruesas y 16 barras finas. Bajo condiciones de flujo normal, se espera que el agua residual circule entre las barras a una velocidad horizontal aproximada de 0.40 m/s, generando una altura de lámina de agua de 0.040 m.

Tabla 22. Resumen de resultados del sistema de rejillas gruesas.

Descripción	Símbolo	Unidad	Valor
Área	A	m ²	0,02
Ancho de las barras	a	m	0,013
Espaciamiento entre barras	s	m	0,04
Número de barras	n	-	8
Ángulo de inclinación de las barras	-	°	45
Ancho del canal efectivo	be	m	0,30
Sección transversal	A _{sc}	m ²	0,01
Velocidad horizontal	V _h	m/s	0,40
Radio Hidráulico	R	m	0,03
Velocidad de Manning	V _m	m/s	0,26
Factor de forma de la barra	β	-	2,42
Pérdida de carga	Δh	m	0,0038
Altura lámina de agua	h _a	m	0,04

Tabla 23. Resumen de resultados del sistema de rejillas finas.

Descripción	Símbolo	Unidad	Valor
Área	A	m ³	0,016
Ancho de las barras	a	m	0,005
Espaciamiento entre barras	s	m	0,02
Número de barras	n	-	16
Ángulo de inclinación de las barras	-	°	45
Ancho del canal efectivo	be	m	0,32
Sección transversal	A _{sc}	m ²	0,01
Velocidad horizontal	V _h	m/s	0,38
Radio Hidráulico	R	m	0,03
Velocidad de Manning	V _m	m/s	0,27
Factor de forma de la barra	β	-	2,42
Pérdida de carga	Δh	m	0,002
Altura lámina de agua	h _a	m	0,04

3.2.5 Diseño del Desarenador de flujo horizontal

Para el diseño del desarenador de flujo horizontal, se tomaron como referencia los criterios y dimensiones establecidas en la Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial de García & Corzo (2008), indica que la geometría de la cámara del desarenador debe ser adecuada para decantar partículas de arena superior a 0.2 mm de diámetro, con un tiempo de retención hidráulica de 62.61 segundos.

Así, considerando un ancho de la cámara de 0.6 m y utilizando las proporciones longitud: ancho 3:1 se determinó una longitud de 1.80 m. Con estos resultados, se calculó un área del desarenador de 0.54 m², permitiendo así retener el caudal de agua residual durante el tiempo mencionado.

Tabla 24. Resumen de resultados del desarenador de flujo horizontal.

Descripción	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal doméstico de diseño	Q_{dom}	m ³ /s	0,0043
Velocidad horizontal	V	m/s	0,20
Área transversal	A_t	m ²	0,02
Ancho adoptado	W	m	0,40
Tiempo de retención hidráulica	TRH	seg	45,00
Longitud del canal	L	m	9,00
Calado del canal	h	m	0,05
Relación largo: ancho	-	-	3
Carga superficial	C_s	m ³ /m ² *h	4,35
Altura del canal (máximo de la zona del desarenado)	H	m	0,50
Área del desarenador	A	m ²	3,60
Volumen del desarenador	V	m ³	1,44

3.2.6 Diseño de tratamiento primario fosa séptica existente más tanques Imhoff

El diseño del tratamiento primario contempla la conservación de la fosa séptica existente, que posee una capacidad de 106.47 m³. Esta unidad está diseñada para recibir un caudal diario 70.98 m³/día, lo que permite mantener un tiempo de retención hidráulica de 1.5 días como se muestra en la *Tabla 25*. Este tiempo es fundamental para asegurar una adecuada sedimentación de sólidos y la descomposición de materia orgánica, lo que contribuye a la eficiencia del tratamiento.

Tabla 25. Resumen de resultados de la fosa séptica existente.

Descripción	Símbolo	Unidad	Valor
Volumen fosa séptica existente	V fosa	m ³	106,47
Tiempo de retención hidráulica	THR	días	1,50
Caudal diario de ingreso a Fosa Séptica existente	Qmd fosa	m ³ /día	70,98
Caudal medio diario ingresa a la fosa	Qm fosa	m ³ /h	2,96
Caudal punta a fosa séptica	Qdom fosa	m ³ /h	5,03

Además, se integrará tanques Imhoff, que complementarán el proceso de tratamiento al permitir una separación más efectiva de los sólidos y el efluente. Estos tanques se diseñaron siguiendo los estándares y valores recomendados en la Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial de García & Corzo (2008), y basándose en la carga hidráulica superficial punta diario, se estimó la geometría de tres tanques rectangular de 1.60 m de ancho, 3.20 m de largo y una profundidad total de los tanques de 4.76m, que pueden recibir un caudal medio diario de 6.24 m³/h y contener un volumen total de 30.17 m³, para un tiempo de digestión trimestral (Mejía Peralta, 2021).

En el diseño hidráulico de los tanques imhoff, se calculó el volumen de lodos, dando como resultado 19.83 m³, con una altura de lodos de 0.46 m y altura de digestión de 2.06m para cada tanque como se muestra en la Tabla 3.7. Estos cálculos son esenciales para asegurar el volumen que ocuparán los lodos y de que no se producirá la resuspensión del material sedimentado.

Como parte del diseño de los tanques Imhoff, se evaluó la eficiencia de remoción del DBO₅ y de los sólidos suspendidos totales (SST), con un porcentaje del 30% y 60%, respectivamente. Por lo tanto, la concentración teórica en el efluente del tanque es de 197.96 mg/L para DBO₅ y de 203.62 mg/L para SST.

Tabla 26. Resumen de resultados de los tanques imhoff.

Descripción	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal medio diario	Qm	m ³ /h	6,24
Caudal ingreso PTAR diario	Qmd	m ³ /día	362,85
Caudal punta	Qdom	m ³ /h	10,62
Carga hidráulica superficial punta diario	Cs	m ³ /m ² *día	24,00
Relación longitud:ancho	L/W		2,00
Pendiente de la cámara de decantación	p	m/m	1,50
Obertura inferior	Oi	m	0,30
Resguardo	hres	m	0,45
Deflector	hdef	m	0,30
Altura libre	h1	m	0,50
Tasa de emisión unitaria de lodos	VEU	l/hab*año	140,00
Porcentaje de la superficie de la zona de escape de gases	%Sgas	%	0,20
Ancho de la zona de gases	Wgas	m	0,60
Tiempo de digestión	Td	años	0,20
Número de puntos de extracción de lodos	n	unidad	2,00
Inclinación de las paredes del fondo	α	°	30,00
Dimensionamiento de los tanques			
Número de tanques	n	unidades	3
Superficie	S	m ²	5,04
Ancho	W	m	1,60
Largo	L	m	3,20
Superficie corregida	S	m ²	5,12
Profundidad zona decantación	P	m	0,98
Área del triángulo	A1	m ²	0,32
Área del rectángulo	Ae	m ²	0,29
Área total	At	m ²	0,93
Volumen de decantación	Vdec	m ³	4,51
Comprobaciones			
Velocidad horizontal	Vpunta,h	m/min	0,06
Tiempo de retención a caudal medio	TRHmedio	h	2,17
Tiempo de retención a caudal punta diario	TRHpunta	h	1,27
Superficie total			
superficie total	St	m ²	6,14

Descripción	Símbolo	Unidad	Valor
Ancho total	Wt	m	2,80
Longitud total	Lt	m	2,19
Valores seleccionados			
Ancho total	Wt	m	2,80
Longitud total	Lt	m	3,20
Superficie total	St	m ²	8,96
Volumen de lodos			
Volumen de lodos	Vlodos	m ³	19,83
Altura de lodos	h3	m	0,46
Altura de digestión	h2	m	2,06
Dimensión total			
Profundidad total del tanque	ht	m	4,76
Volumen total del tanque	V	m ³	30,17

Se llevó a cabo un análisis de rendimiento del tratamiento primario con el objetivo de determinar la carga contaminante en el efluente como se indica en la Tabla 27. Este proceso involucró la evaluación de diversos parámetros clave, como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO). Para ello, se utilizaron los parámetros del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) obtenidos del laboratorio ESPOL.

Tabla 27. Resumen de resultados de los tanques imhoff.

Descripción	Símbolo	Unidad	Valor
Concentración demanda bioquímica de oxígeno	DBO ₅	mg/l	205,00
Concentración demanda bioquímica de oxígeno	DQO	mg/l	512,50
Concentración sólidos suspendidos totales	SST	mg/l	509,05
Eficiencia de remoción de DBO	Ef DBO	%	30,00
Porcentaje efluente de DQO	Ef DQO	%	30,00
Eficiencia de remoción de SST	Ef SST	%	60,00
Efluente de DBO	EFFDBO	mg/l	143,50
Efluente de carga DQO	EFFDQO	mg/l	358,75
Efluente de SST	EFFSST	mg/l	203,62

Los datos recopilados permitieron cuantificar la reducción de contaminantes lograda durante el tratamiento primario, proporcionando una visión clara de la eficacia del

proceso. Además, se identificaron las características del efluente, lo que resulta fundamental para el diseño del tratamiento biológico posterior.

3.2.7 Diseño del humedal de flujo horizontal subsuperficial

Dado que la carga orgánica en el efluente del tratamiento primario no se ajusta a los límites permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce, se propone el diseño de un sistema de humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial, con el objetivo de proponer una de las tecnologías más utilizadas para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones urbanas.

Los parámetros para dimensionar la geometría del humedal artificial se basaron en el enfoque P-k-C*, que hoy en día es calificada como el método más avanzado, ya que ofrece un diseño que incluye información más detallada sobre los coeficientes de degradación de contaminantes y la hidráulica de los humedales (Mejía Peralta, 2021). Para ello, el dimensionamiento biológico de los humedales artificiales se efectuó mediante el enfoque P-k-C que consiste en una concentración inicial de DBO5 de 143.50 mg/l (resultado del rendimiento del tratamiento primario *Tabla 27.*) en el afluente de este tratamiento, y una carga de 100 mg/l de DBO5 en el efluente (límite máximo permisible de descarga, TULSMA), para determinar la superficial total de los humedales, que resultó ser 5 678.53 m².

Por consiguiente, los resultados del dimensionamiento del sistema de humedales artificiales se muestran a continuación en la *Tabla 28.*

Tabla 28. Resumen de resultados del sistema de humedales de flujo horizontal.

Descripción	Símbolo	Unidad	Valor
Caudal medio de diseño	QMD	m ³ /día	220,92
Caudal punta	QMH	m ³ /h	10,61
Número aparente de tanques en serie	P	adim	3
Factor de corrección por temperatura	θ	adim	0,98
Constante de degradación de la materia orgánica (20° C)	Ka	m/año	25
[DBO5] _i	Ci	mg l ⁻¹	143,5

Descripción	Símbolo	Unidad	Valor
[DBO5]0	C0	mg l-1	100
[DBO5]	C*	mg l-1	10
Caudal de ingreso	Qi	m3/día	80635,8
Área del humedal	S	m2	1359,12
Carga orgánica superficial	Corg,s	gDBO5/m2 d	23,32
Área mínima para cumplir con la carga orgánica superficial	Smín	m2	5283,67
Carga hidráulica	Ch	l/m2d	41,81
Conductividad hidráulica	Ks	m3/m2d	1000
Relación largo/ancho	L/W	adim	1
Altura del lecho de gravas	h	m	0,5
Ancho del humedal	W	m	72,68
Área transversal	St	m2	36,34
Carga orgánica transversal máxima	Ct.max	gDBO5/m2 día	250
Carga orgánica transversal	Ct	gDBO5/m2 día	872,26
Conformación de celdas			
Área	S	m2	36
Carga orgánica de ingreso	Corg,s	gDBO5/día	31702,02
Carga orgánica transversal máxima	Ct.max	gDBO5/m2 día	250
Área transversal	St	m2	126,8081
Ancho del humedal	W	m	253,6162
Largo del humedal	L	m	20,9
Relación largo/ancho 1:1			
Relación largo/ancho de las celdas	L/W	adim	1
Ancho de la celda	Wc	m	20,9
Número de celdas	n	unidades	13
Área transversal del humedal definitiva	St def	m2	135,85
Carga orgánica	Ci	gDBO5/m2*día	233,3605
Relación largo/ancho 1:2			
Relación largo/ancho de las celdas	L/W	adim	2
Ancho de la celda	Wc	m	10,45
Número de celdas	n	unidades	25
Área transversal del humedal definitiva	St def	m2	130,625
Carga orgánica	Ci	gDBO5/m2*día	242,6949
Diseño definitivo			
Número de humedales en paralelo	N	unidades	13
Ancho	W	m	20,9
Largo	L	m	20,9
Altura del humedal	h	m	0,5
Área celda	Scelda	m2	436,81
Área total	Stotal	m2	5678,53

Descripción	Símbolo	Unidad	Valor
Volumen humedal	Vhumedal	m3	2839,265
Volumen agua	Vagua	m3	993,7428
Tiempo de Retención hidráulica	TRH	días	4,498202

3.2.8 Diseño del humedal de flujo vertical subsuperficial

En esta sección, se presenta la propuesta de diseño para un humedal de flujo vertical subsuperficial, orientado a optimizar el tratamiento del efluente y mejorar la calidad del agua.

Para ello, se dimensiona el humedal vertical de acuerdo con la metodología de IWA (2017), que permite calcular las cargas orgánicas tanto superficial como transversal, logrando así una reducción significativa de DBO y nutrientes. Asimismo, se selecciona el medio granular con un tamaño de partícula adecuado y una profundidad de 1.20m, para permitir un flujo vertical óptimo y mejorando la interacción entre el efluente y los microorganismos presentes.

Para el correcto funcionamiento del tratamiento se ha verificado que el diseño cumple con la carga hidráulica máxima permitida por unidad de superficie, asegurando un funcionamiento eficiente y evitando problemas de colmatación (Mejía Peralta, 2021).

Los resultados del diseño y comprobación de tratamiento se muestran a continuación en la *Tabla 29*.

Tabla 29. Resumen de resultados del sistema de humedales de flujo vertical.

Descripción	Símbolo	Unidad	Valor	
Caudal medio de diseño	QMD	m3/día	220,92	
DQO salida del Tratamiento Primario	DQO	gDQO/m3	358,75	
Carga orgánica de entrada	CODo	gDQO/día	79255,05	
Superficie			Granulometría del material	
			0,06-4 mm	2-3 mm
Máxima carga orgánica por unidad de superficie	C _{org.ud.sup.}	gDQO/día*m2	20	80
Carga orgánica por unidad de superficie			20	22

Descripción	Símbolo	Unidad	Valor	
Superficie calculada	Scalc.	m ²	3962,75	3602,50
Carga hidráulica por unidad de superficie	HLR	m ³ /m ² *día	0,06	0,06
Condición para tratamiento terciario (IWA,2017)	HLR	≤ 0.08 m ³ /m ² *día	CUMPLE	CUMPLE
Condición para tratamiento terciario (IWA,2017)	HLR	≤ 0.12 m ³ /m ² *día	CUMPLE	CUMPLE
Celdas				
Superficie de celda sugerida (IWA, 2017)	Scel.	m ²	400,00	400,00
Número de celdas	n	unidad	9,91	9,01
			10,00	10,00
Área de cada celda	Scel.	m ²	396,28	360,25
Dimensiones de celdas				
Relación L/W	L/W	adim.	2,00	2,00
Ancho	W	m	14,08	13,42
Largo	L	m	28,15	26,84
Valores Seleccionados				
Ancho	W	m	14,10	13,50
Largo	L	m	28,20	26,90
Área H.V	S	m ²	3976,20	3631,50
Comprobación de la máxima carga orgánica por unidad de superficie	C _{org.ud.sup.}	gDQO/día*m ²	19,93	21,82
			CUMPLE	CUMPLE
Superficie por habitante equivalente	S _{he.}	m ² /he	9,94	9,08

3.2.9 Elección de propuesta definitiva

Para identificar la opción de diseño más adecuada, se evaluó las características de cada tipo de humedal artificial destinado al tratamiento secundario. Se establecieron diversas variables a las que se les asignó una puntuación de 0 a 2 puntos. La puntuación total se establece sobre 10 puntos, distribuyéndose en:

- Variables relacionadas con la operación, rendimiento de depuración e implementación: 50% del total.
- Variables asociadas a la fijación de carbono: 50% del total.

Esta división de variables se justifica, ya que el objetivo de este Trabajo Fin de Máster es diseñar un sistema que no solo cumpla con los límites máximos permisibles de vertido a un cuerpo de agua dulce, operación y mantenimiento, sino que también contribuya a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por el tratamiento de aguas residuales (Mejía Peralta, 2021).

Tabla 30. Selección de alternativa.

Variable de análisis		Alternativa 1	Alternativa 2	Valoración
		HAFSsH	HAFSsV	
Operación, rendimientos de tratamiento y construcción				
Superficie de construcción requerida		0	1	Mayor: 0 - Menor: 1
Rendimiento de eliminación de materia orgánica		1	1	Reciben la misma puntuación porque, los dos HA cumplen los objetivos marcados
Rendimiento de eliminación de sólidos suspendidos		1	1	Reciben la misma puntuación porque, los dos HA cumplen los objetivos marcados
Capacidad de nitrificación		0	1	No: 0 - Sí: 1
Consumo de energía		1	0	No: 1 - Sí: 0
Complejidad en la operación (inyección del ARU)		1	0	Mayor: 0 - Menor: 1
Complejidad de mantenimiento	Cosecha de vegetación	0	1	Mayor: 0 - Menor: 1
	Mantenimiento de los accesorios	1	0	Mayor: 0 - Menor: 1
Costos de construcción		1	0	Mayor: 0 - Menor: 1
Subtotal		6	5	
Puntuación sobre 5		3	2,5	
Variables sobre fijación de carbono				
Condicion de sumidero/fuente/equilibrio de carbono		2	2	Fuente: 0 - Equilibrio: 1 - Sumidero: 2
Capacidad de fijación de carbono por unidad de área		0	1	Menor: 0 - Mayor: 1
Contaminación ambiental asociada a los procesos constructivos		1	0	Mayor: 0 - Menor: 1
Subtotal		3	3	
Puntuación sobre 5		1,5	1,5	
VALORACIÓN		4,5	4	Se elige la alternativa 1

La opción elegida es la de humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial para el tratamiento biológico. Como se indica en la tabla, una variable clave es la operación y mantenimiento, ya que estos humedales de flujo horizontal presentan una menor

complejidad en comparación con los de flujo vertical. Además, los costos de construcción son más bajos, ya que requieren menos movimiento de tierras, lo que contribuye a reducir la contaminación generada durante la fase de construcción.

En la *Tabla 31*, Se evidencia los cambios que se proponen en comparación con el estado actual de la PTAR.

Tabla 31. Comparación de estado actual vs alternativa.

COMPARACIÓN			
DISEÑO ANTIGUO		DISEÑO PROPUESTO	
PRETRATAMIENTO			
CANAL DE APROXIMACIÓN			
LONGITUD (m)	5,00	LONGITUD (m)	15,49
ANCHO (m)	1,25	ANCHO (m)	1,40
PROFUNDIDAD (m)	1,00	PROFUNDIDAD (m)	0,40
<u>CANAL CON 2 CRIBAS</u>		<u>DOBLE CANAL CON CRIBAS Y DESARENADOR</u>	
TRATAMIENTO PRIMARIO			
FOSA SEPTICA		FOSA SEPTICA	
LONGITUD (m)	7,25	LONGITUD (m)	7,25
ANCHO (m)	6,30	ANCHO (m)	6,30
PROFUNDIDAD (m)	3,05	PROFUNDIDAD (m)	3,05
		TANQUES IMHOFF	
		LONGITUD (m)	3,20
		ANCHO (m)	3,60
		PROFUNDIDAD (m)	4,86
<u>UNA FOSA SEPTICA</u>		<u>UNA FOSA SEPTICA Y TRES TANQUES IMHOFF</u>	
TRATAMIENTO SECUNDARIO			
LECHO DE SECADO			
LONGITUD (m)	12,00	LONGITUD (m)	12,00
ANCHO (m)	6,80	ANCHO (m)	6,80
PROFUNDIDAD (m)	1,83	PROFUNDIDAD (m)	3,30
<u>LECHO DE SECADO CON UN ALATURA DE 1.83 m</u>		<u>LECHO DE SECADO CON UNA ALTURA DE 3.30 m</u>	
HUMEDALES			
LONGITUD (m)	51,00	LONGITUD (m)	20,90
ANCHO (m)	10,00	ANCHO (m)	20,90
PROFUNDIDAD (m)	0,50	PROFUNDIDAD (m)	0,50
<u>TRES HUMEDALES</u>		<u>TRECE HUMEDALES</u>	

La propuesta de la nueva PTAR requiere un área aproximada de 11750 m² como se muestra en la Figura 18, en la misma se muestra de color rojo el área actual de la PTAR correspondiente a 5978,7 m² y en color amarillo la nueva área propuesta. De tal manera que las nuevas unidades de tratamiento se adapten a las áreas disponibles de la planta de tratamiento existente.

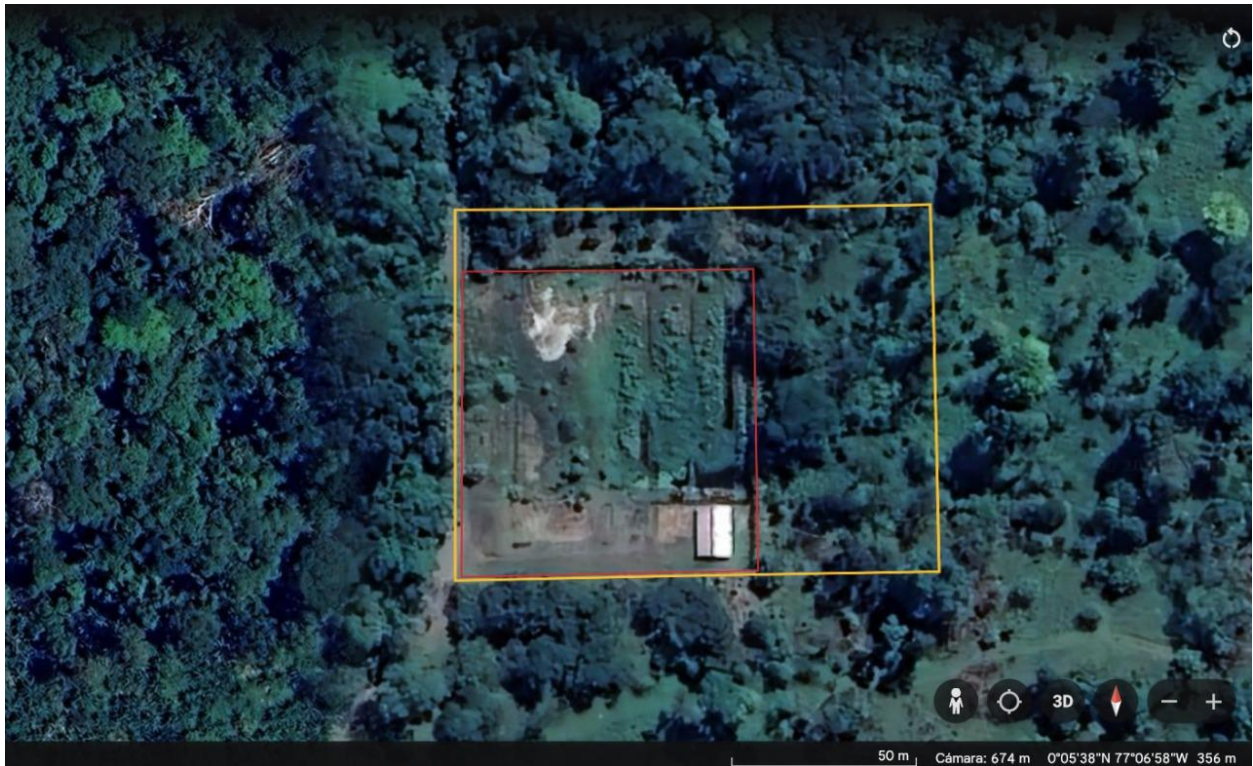


Figura 18. Ubicación de la nueva PTAR propuesta – (Google Earth, 2024)

3.2.10 Presupuesto

Se elaboró el presupuesto (*Anexo 1*) para el presente proyecto de fin de máster, el cual desempeña un papel fundamental al ofrecer una evaluación detallada de los rubros necesarios para su implementación. Este presupuesto abarca tanto los costos directos relacionados con materiales, mano de obra y equipos, como los gastos indirectos, que incluyen aspectos ambientales, de seguridad y salud ocupacional. Un análisis exhaustivo de este presupuesto permite evaluar la viabilidad económica de la investigación, garantizando que los recursos se asignen de manera adecuada para lograr los objetivos planteados de forma eficiente y efectiva.

El presupuesto resultante es una estimación del proyecto, basado en datos preliminares, planos elaborados y supuestos generales. Para obtener cifras más precisas respecto a los costos de excavación y mejoramiento del suelo, es esencial realizar estudios de suelo y análisis de topografía detallados. Estos estudios permitirán identificar las características específicas del terreno, como la composición del suelo y la profundidad de sus diferentes capas. Con esta información, será posible ajustar el presupuesto de manera más realista, garantizando que los recursos se alineen adecuadamente con las necesidades del proyecto y evitando sorpresas financieras durante la fase de ejecución. Además, un presupuesto bien estructurado puede servir como una herramienta de justificación ante las entidades financieras, demostrando la sostenibilidad y el impacto potencial del proyecto en el ámbito estudiado.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Basados en el diagnóstico visual y el análisis de laboratorio con los datos obtenidos de la fosa séptica, el humedal artificial y la planta de tratamiento en general, revela una evidente ineficiencia en el sistema actual de tratamiento de aguas residuales. Los altos niveles de contaminantes detectados en el efluente final indican que la PTAR no está cumpliendo con su función de depurar las aguas de manera adecuada. Las posibles causas de esta situación incluyen la sobrecarga orgánica e hidráulica en la planta, deficiencias en el diseño, problemas operativos y de mantenimiento, así como variaciones en los resultados de los laboratorios. Esto supone graves consecuencias para el medio ambiente y la salud pública. Para solucionar esta problemática, planteamos una propuesta de diseño de mejoras para la PTAR necesarias para optimizar los procesos de tratamiento de aguas residuales.

La selección de la alternativa de diseño más adecuada se ha logrado mediante un análisis comparativo cualitativo de las variables técnicas y operativas de cada opción evaluada. Este proceso ha permitido identificar las características y ventajas de cada

diseño, asegurando que la elección final no sólo cumpla con los requisitos técnicos, sino que también optimice el sistema de tratamiento en su totalidad.

Por lo tanto, se decidió implementar un humedal de flujo horizontal subsuperficial para el tratamiento biológico, configurando la línea de tratamiento de agua residual, de la siguiente manera: tratamiento preliminar, tratamiento primario y tratamiento secundario o biológico, que incluyen las siguientes unidades: cribado, desarenador de flujo horizontal, fosa séptica + tanques Imhoff y humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial; respectivamente. Adicional, la línea de tratamiento de lodos está conformada por un lecho de secado, el cual tiene como función deshidratar el fango primario. Esta configuración tiene como objetivo depurar la carga contaminante del efluente antes de su descarga en el cuerpo receptor, cumpliendo así con la norma vigente establecida en el Acuerdo Ministerial 061.

Al priorizar la eficiencia y la operatividad, se garantiza que la alternativa seleccionada sea la más efectiva para abordar las necesidades del proyecto, contribuyendo así a un uso sostenible de los recursos y a la mejora continua del sistema de tratamiento.

4.2 Recomendaciones

Se recomienda efectuar un análisis exhaustivo en laboratorio para identificar las causas subyacentes a las discrepancias observadas en los resultados de los análisis de la calidad del agua residual afluente. Entre las posibles explicaciones se encuentran errores sistemáticos asociados a la calibración de los equipos, errores aleatorios derivados de la toma de muestras y factores externos como las condiciones climatológicas, que pueden influir en la composición de las muestras.

Previo a la implementación de la planta de tratamiento, es imperativo realizar un estudio geotécnico detallado. Este estudio permitirá evaluar las características del suelo, tales como su capacidad portante, permeabilidad y susceptibilidad a procesos de degradación. Con esta información, se podrá diseñar una cimentación adecuada que garantice la estabilidad de las estructuras y evite problemas como asentamientos diferenciales o fallas por esfuerzos excesivos. Además, el estudio geotécnico delimitará el área óptima para la ubicación de la planta, minimizando los riesgos geotécnicos y optimizando los costos de construcción.

Se sugiere la construcción de un vertedero para el manejo del caudal pluvial. Este vertedero no solo ayudará a gestionar el exceso de agua durante eventos de lluvia intensa, sino que también minimizará el riesgo de desbordamientos y la contaminación del agua superficial. La creación de esta infraestructura contribuirá a mejorar la calidad del agua en la Planta de Tratamiento y a proteger el medio ambiente local.

BIBLIOGRAFÍA

- Abarca, L. (2013). Diseño hidráulico del canal de dissipación que conecta un conducto con flujo supercrítico con un aforador Parshall, empleando un modelo a escala. Universidad Católica del Perú.
- Aguay, A. (2016). Diseño del sistema de alcantarillado sanitario, con el sistema de tratamiento "Imhoff" de aguas residuales para la parroquia San Luis de Pambil, cantón Guaranda, provincia Bolívar. Universidad Técnica de Ambato.
- Aguirre Barrera, J., & Aguirre Barrera, S. (2021). Metodologías para el desarrollo de Proyectos. Recuperado el 08 de septiembre de <https://repository.unicatolica.edu.co/handle/20.500.12237/2037>
- Angelina Martínez., Felger, R., & Búrquez, A. (2010). *Diversidad Biológica de Sonora*. Accedido el 4 de septiembre, 2024, desde https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:aHab599SChAJ:scholar.google.com/+ecosistemas+terrestres&hl=es&as_sdt=0,5
- Alexander, M., & Andres, Q. (2024). Propuesta de repontenciación de la planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Quillopungo, en la Parroquia del Valle-Cuenca. Universidad Politecnica Salesiana.
- Arias, S. (2021). *Simulación de un clarificador secundario del proceso de una planta de tratamiento de aguas residuales usando fluido dinámico computacional*. Universidad Industrial de Santander.
- Belzona. (2010). Tratamiento de Aguas Residuales. Obtenido el 24 de octubre de https://www.belzona.com/es/solution_maps/wastewater/money_map.pdf
- Buytaert, W., Céleri, R., De Bièvre, B., Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., & Hofstede, R. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, 79(1–2), 53–72. Accedido el 4 de septiembre, 2024, desde <https://doi.org/10.1016/J.EARSCIREV.2006.06.002>
- Caicedo, S., & Herrera, L. (2015). Determinación De La Cantidad De Co2 Capturado Y O2 Producido Por Los Diferentes Biotopos En El Humedal Santa María Del Lago.
- Campos Gómez, I. (2000). *Saneamiento Ambiental* (EUNED). Universidad Estatal a Distancia. Accedido el 4 de septiembre, 2024, desde

<https://books.google.com.ec/books?id=lsgrGBGIGeMC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Collazos, C. J. (2008). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS E INDUSTRIALES* UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA FACULTAD DE INGENIERIA CATEDRA INTERNACIONAL 2008. https://www.academia.edu/8385106/TRATAMIENTO_DE_AGUAS_RESIDUALES_DOMESTICAS_E_INDUSTRIALES?auto=download

Collahuazo, F. (2022). Diseño e implementación de un sistema de Control De Los Equipos Desarenadores de la “Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Loja”. Universidad Politecnica Salesiana.

Dotro, G., Langergraber, G., Molle, P., Nivala, J., Puigagut, J., Stein, O., & von Sperling, M. (2017). *BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT SERIES: Vol. VOLUME 7*. <http://iwaponline.com/ebooks/book-pdf/1843/wio9781780408774.pdf>

EPA. (1977). *WATERSHED ACADEMY WEB 1 INTRODUCCIÓN A LA LEY DE AGUA LIMPIA* Introducción a la Ley de Agua Limpia. www.epa.gov/watertrain/

Fernando, J., Carlos González, L.-M., Yennyfer, T., & Olivares, M. (2016). *LAS AgUAS RESIDUALES y SUS CONSECUENCIAS EN EL PERÚ*. Accedido el 4 de septiembre, 2024, desde <https://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/115>

Hernández, M. (s/f). Desarenador de flujo horizontal para la planta de tratamiento primaria de aguas residuales PAS Puerto Nuevo, Autoridad de Acueducto y Alcantarillados.

IUCN Red List. (2020). *IUCN Red List of Threatened Species*. Accedido el 4 de septiembre, 2024, desde <https://www.iucnredlist.org/resources/summary-statistics>

José, I. S., Galarza, Q., Vargas, A., Puma, G., Coyachamin, M., Alvarado, C., & Bastidas, Z. (2020). *Autoridades del cantón del cantón Cascales ALCALDE DEL CANTON CASCALES VICEALCALDE DEL CANTÓN CONCEJAL DEL CANTÓN CONCEJAL DEL CANTÓN CONCEJAL DEL CANTÓN CONCEJAL DEL CANTÓN*. www.grupodts.com.ec

Kleemann, J., Koo, H., Hensen, I., Mendieta-Leiva, G., Kahnt, B., Kurze, C., Inclan, D. J., Cuenca, P., Noh, J. K., Hoffmann, M. H., Factos, A., Lehnert, M., Lozano, P., & Fürst,

- C. (2022). Priorities of action and research for the protection of biodiversity and ecosystem services in continental Ecuador. *Biological Conservation*, 265, 109404. Accedido el 6 de septiembre, 2024, desde <https://doi.org/10.1016/J.BIOCON.2021.109404>
- Koo, H., Kleemann, J., Cuenca, P., Noh, J. K., & Fürst, C. (2024). Implications of landscape changes for ecosystem services and biodiversity: A national assessment in Ecuador. *Ecosystem Services*, 69. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2024.101652>
- MAATE. (2015). REFORMA TEXTO UNIFICADO LEGISLACION SECUNDARIA, MEDIO AMBIENTE, LIBRO VI, Decreto Ejecutivo 3516, Registro Oficial Suplemento 2, 31/03/2003. *LexisFinder, Acuerdo Ministerial 097*. www.lexis.com.ec
- Mejía Peralta, F. E. (2021). Propuesta de implementación de humedales artificiales en las EDARs de Vall de Flors y Marines (Valencia) para la mejora de la calidad de las aguas, fijación de carbono y mejora de la conectividad ecológica del barranco del Carraixet. <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/177060>
- Metcalf, & Eddy. (1995). Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. Ed. Mc. Graw-Hill, 1485.
- ONU. (2018). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible*. Accedido el 6 de septiembre, 2024, desde <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- ONU-Hábitat, OMS, Thevenon, F., & Shantz, A. (2021). *Progress on Wastewater Treatment-Global status and acceleration needs for SDG indicator 6.3.1*. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat) y Organización Mundial de la Salud (OMS).
- Osorio Rivera, M. A., Carrillo Barahona, W. E., Negrete Costales, J. H., Llor Lavay, X. A., & Riera Guachichulca, E. J. (2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. *Polo Del Conocimiento: Revista Científico - Profesional*, ISSN-e 2550-682X, Vol. 6, Nº. 3, 2021, Págs. 228-245, 6(3), 228–245. Accedido el 6 de septiembre, 2024, desde <https://doi.org/10.23857/pc.v6i3.2360>
- Ormaza, A., & Ortiz, M. (2020). *Elaboración del Modelo Físico y Guía Metodológica para la Práctica de Tratamiento de Aguas Residuales Mediante un Filtro Percolador de*

la Asignatura de Hidrosanitaria de la Universidad del Azuay. Universidad de Azuay.

Quiroz, Menendez, & Izquierdo. (2019). Tratamiento de agua y aguas residuales. Universidad Técnica de Manabí.

Rojas, R. (2002). Curso Internacional "GESTIÓN INTEGRAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES" 25 al 27 de setiembre de 2002 Conferencia Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales CONTENIDO. CEPIS/OPS-OMS. Accedido el 6 de septiembre, 2024, desde https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57123734/GESTION_INTEGRAL_DEL_TRATAMIENTO_AR-libre.pdf?1533264908=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DCurso_Internacional_GETION_INTEGRAL_DE_T.pdf&Expires=1725667265&Signature=DclH62uys8WtMSxc28HBkcSTAziccOt5b58uqQBx~aFC7MCEngk28IJVsE8z33dc38oAQAJmi5ILE3V3L5h65hg~wuaKAOBgmspt0Kp1-IKT8jPbrggmkUxKWj-RZycPB9PFL08YIXHKNe9T7qeOA7kguCFymGIQLttywm8gEvAeDHoo8XvDhuZn5ljxfFRNxUQFlzbkSTfDodJ9BVXu7t5YWhFolrUolBclGjT6OtCf9EqsoOxueJaeT~CjSq8d3mlqLx4Vo~O433Ra4xbdg7c6K-3869jGRZbqzzeQKfaqs5twZoAk5vL3hlgOiQsbjxzKXY3CYP-TQgStiKX-0A__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Yee-Batista, C. (2013). Un 70% de las aguas residuales de Latinoamérica vuelven a los ríos sin ser tratadas. Banco Mundial, BIRF – AIF. Accedido el 6 de septiembre, 2024, desde <http://www.bancomundial.org/es/news/feature/2014/01/02/rios-de-latinoamerica-contaminados>>

PLANOS Y ANEXOS



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

TÍTULO:

espol

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LA
PARROQUIA CEVILLA
"RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO"

Fecha

OCTUBRE / 2024

Dibujo

CRISTHIAN RICARDO
ALMEIDA VILARREAL
JONATHAN PATRICIO
QUIROZ ALMEIDA

Tutor:

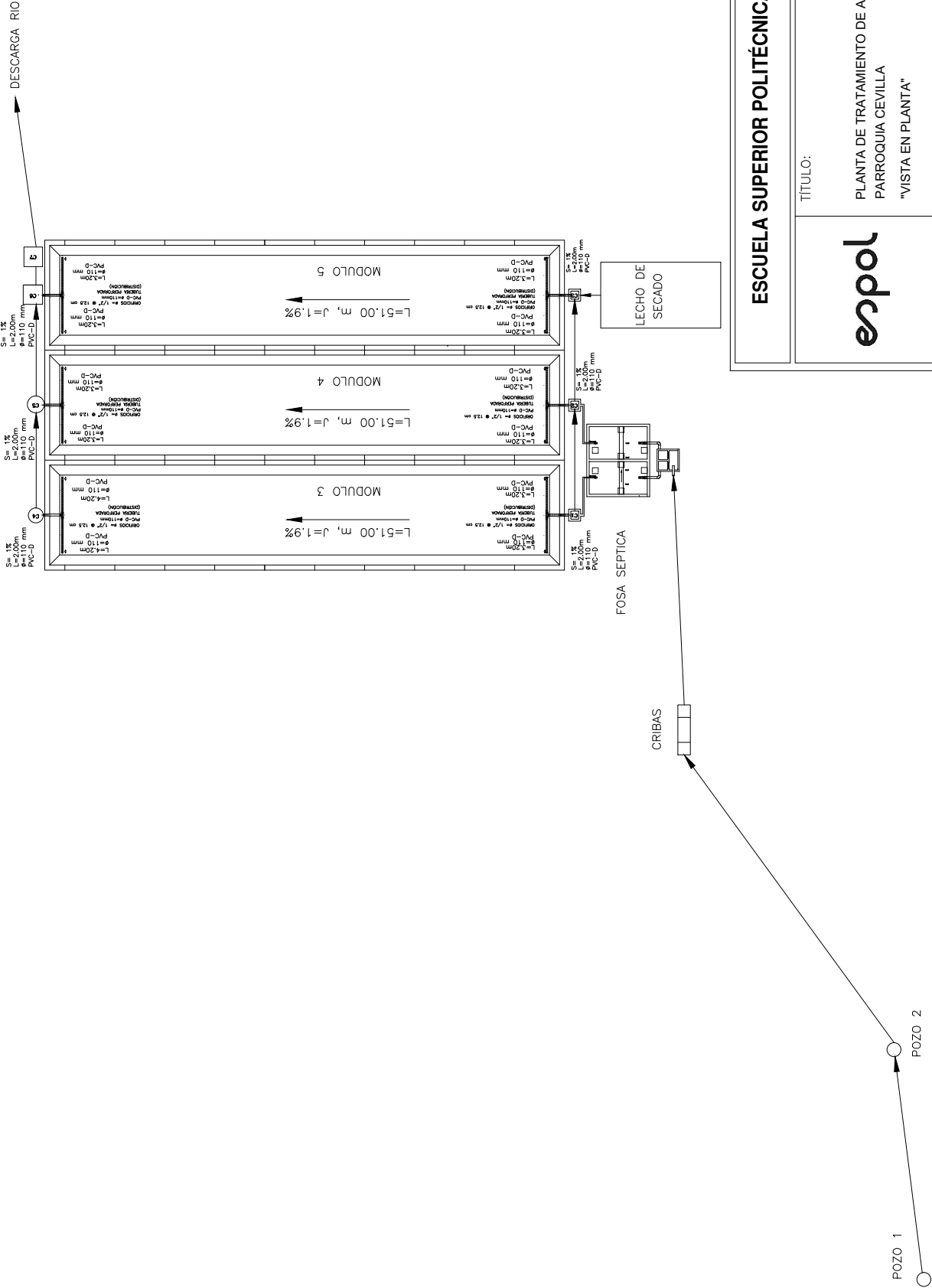
FERNANDA MEJIA

LAMINA No.

1/1

RED EXISTE	
RED DE ALCANTARILLADO NUEVO	————
CASAS	
LONGITUD ALC ANT=	5292.31M
LONGITUD ALC NUEVA=	2101.52M

VISTA EN PLANTA



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

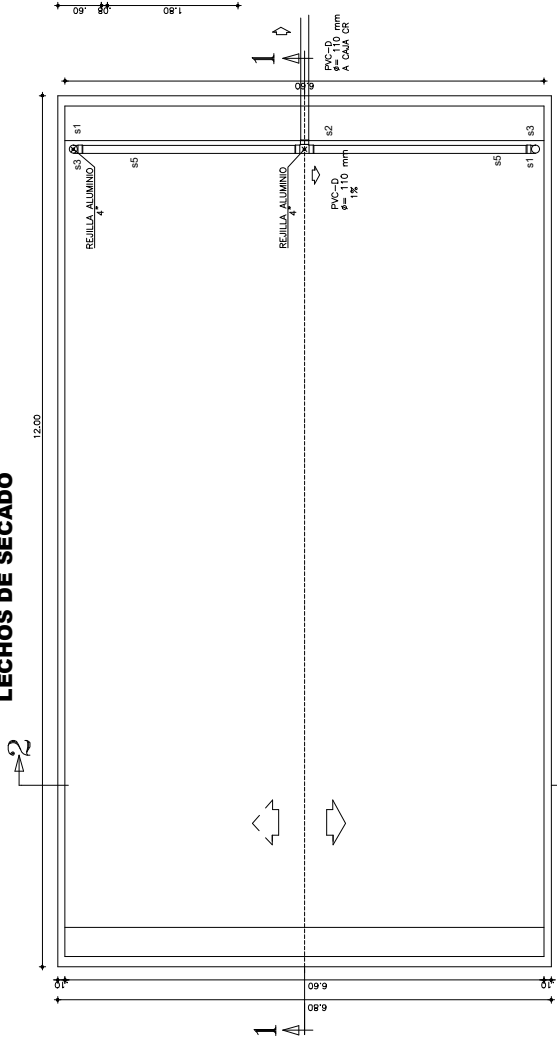
TÍTULO:



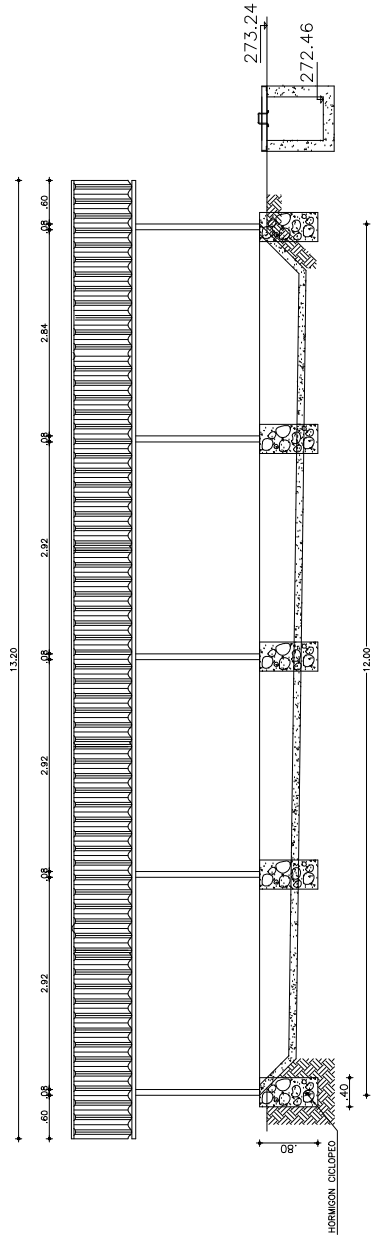
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LA
PARROQUIA CEVILLA
"VISTA EN PLANTA"

Fecha	Dibujo	Tutora:	LAMINA No.
OCTUBRE/2024	CRISTIAN RICARDO ALMEIDA VILLARREAL JONATHAN PATRICIO QUIROZ ALMEIDA	FERNANDA MEJIA	1/5

LECHOS DE SECADO

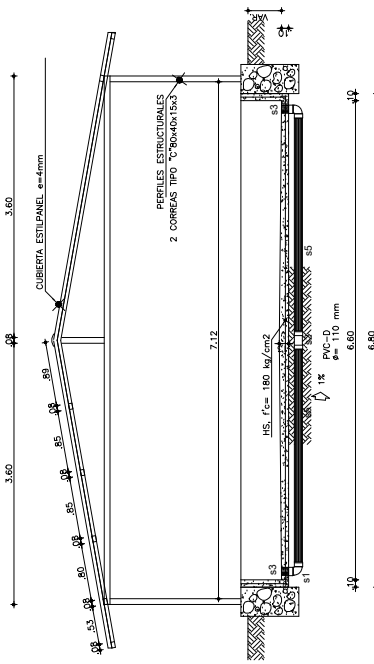


CORTE 1-1



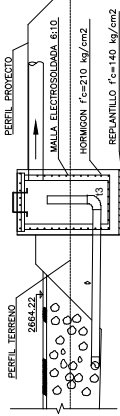
CORTE 1-1

LISTA ACCESORIOS LECHOS DE SECADO			
ITEM	DESCRIPCIÓN DEL RUBRO	UNID.	CANTIDAD
S1	CODO PVC Ø 80"	u	24
S2	TEE PVC	u	12
S3	REJILLA DE PISO 4"	u	24
S4	TRAMO CORTO DE TUBERÍA PVC	u	24
S5	TRAMO LARGO DE TUBERÍA PVC	u	24

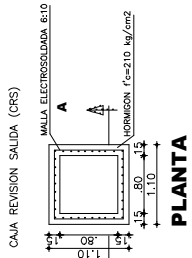


CORTE 2-2

CAJA DE REVISION
SALIDA ESTANQUE 0.80x0.80



CORTE M - M



PLANTA

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

TÍTULO:

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LA
PARROQUIA CEVILLA
"LECHO DE SECADO"

Fecha

OCTUBRE/2024

Dibujo

CRISTIAN RICARDO
ALMEIDA VILLARREAL
JONATHAN PATRICIO
QUIROZ ALMEIDA

Tutor:

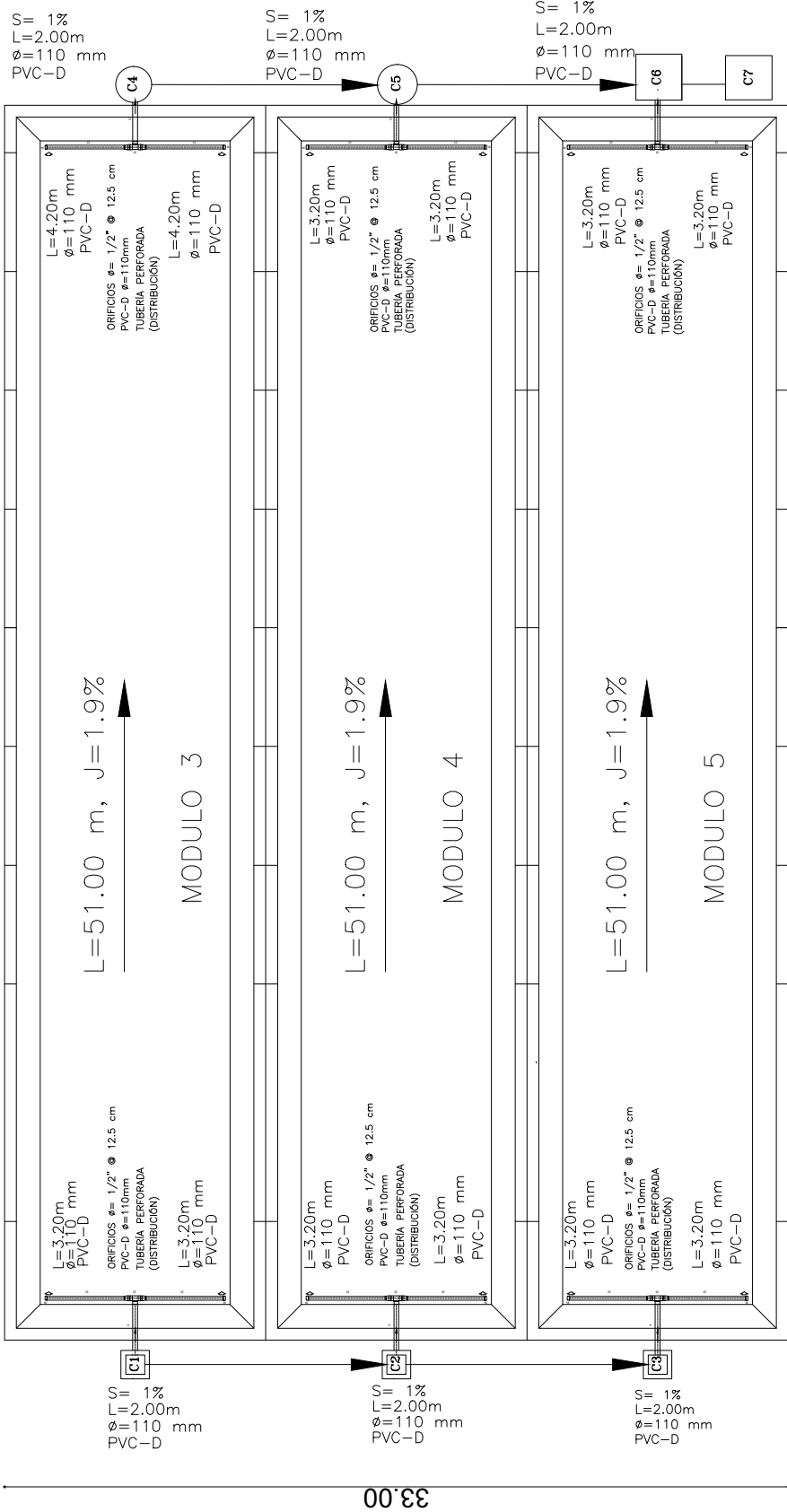
FERNANDA MEJIA

LAMINA No.

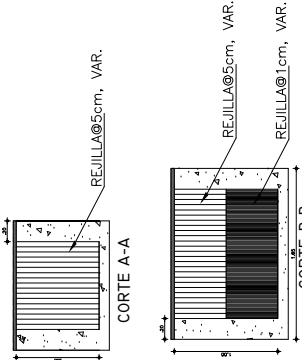
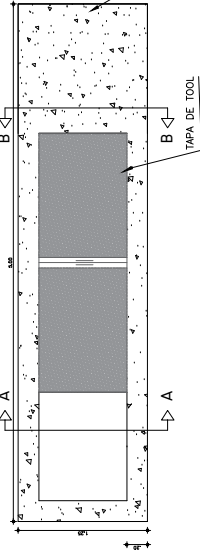
2/5

HUMEDALES

52.00



CRIBA-VISTA EN PLANTA



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

TÍTULO:

espol

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LA
PARROQUIA CEVILLA
"HUMEDALES Y CRIBAS"

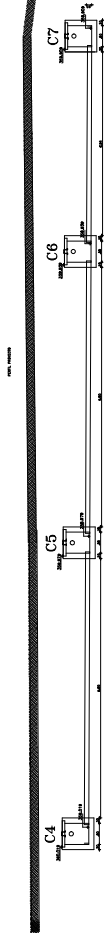
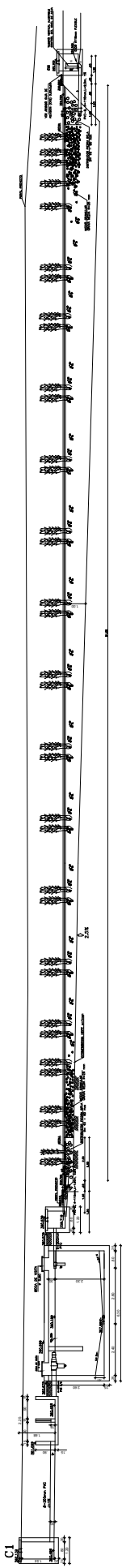
Fecha
OCTUBRE/2024

Dibujo
CRISTIAN RICARDO
ALMEIDA VILLAREAL
JONATHAN PATRICIO
GONZALEZ ALMEIDA

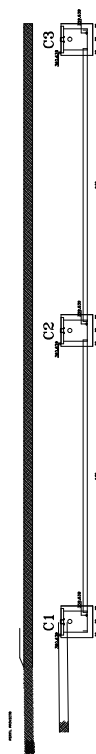
Tutora:
FERNANDA MEJIA

LAMINA No.
4/5

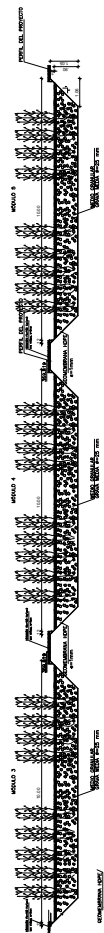
HUMEDALES



VISTA LATERAL



VISTA LATERAL



VISTA LATERAL

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

TÍTULO:



PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LA
PARROQUIA CEVILLA
"HUMEDALES"

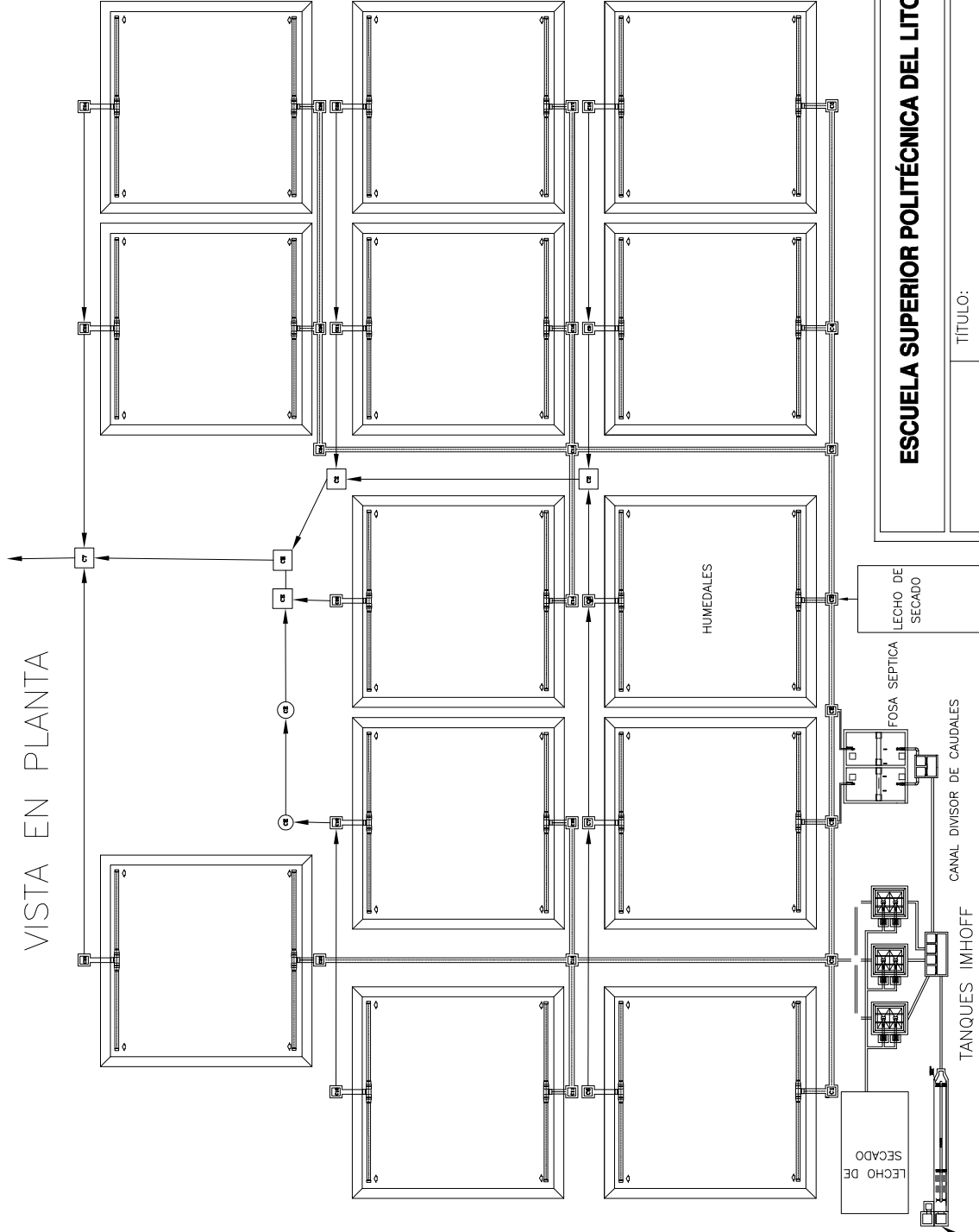
Fecha
OCTUBRE/2024

Dibujo
CRISTHIAN RICARDO
ALMEIDA VILLARREAL
JONATHAN PATRICIO
QUIROZ ALMEIDA

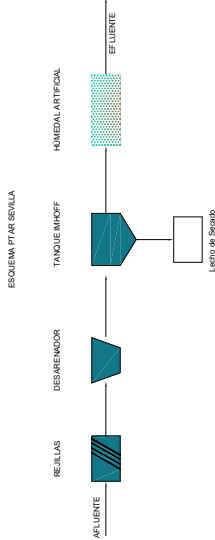
Tutora:
FERNANDA MEJIA

LAMINA No.
5/5

VISTA EN PLANTA



POZO 1
POZO 2



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

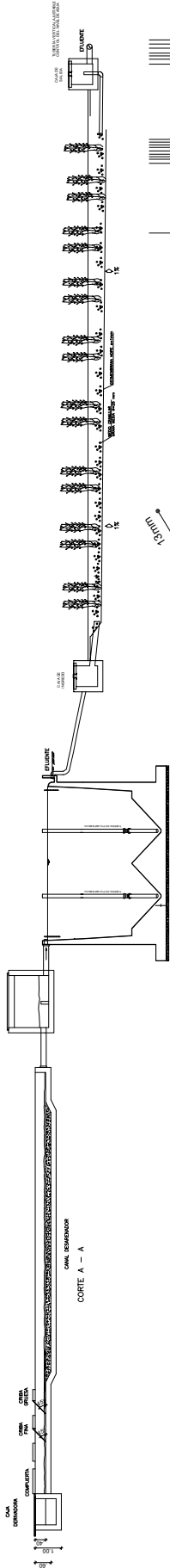
TÍTULO:

espol

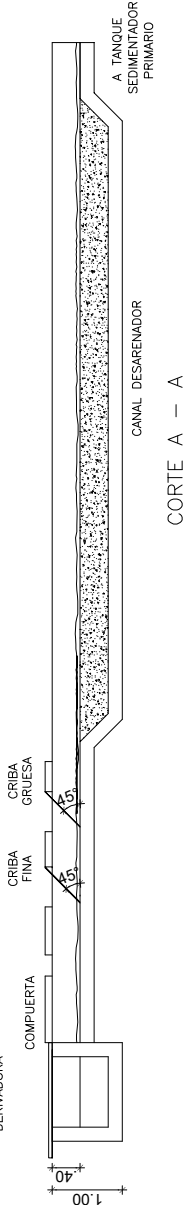
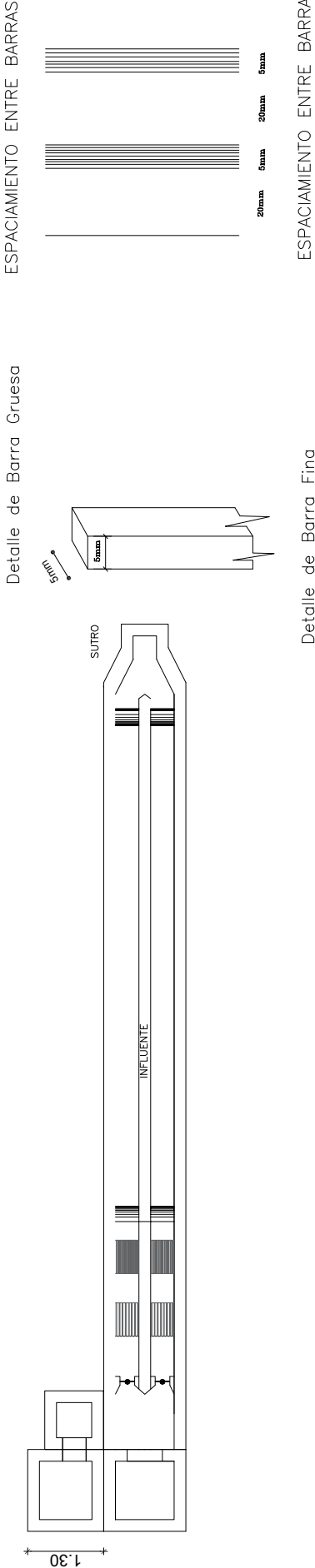
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LA
PARROQUIA CEVILLA
"VISTA EN PLANTA"

Fecha	Dibujo	Tutor:	LAMINA No.
NOVIEMBRE/2024	CRISTHIAN RICARDO ALMEIDA VILARREAL JONATHAN PATRICIO QUIROZ ALMEIDA	FERNANDA MEJIA	1/6

PERFIL PLANTA DE TRATAMIENTO



CANAL DE APROXIMACIÓN



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

TÍTULO:

espol

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LA
PARROQUIA CEVILLA
"PERFIL PLANTA DE TRATAMIENTO
Y CANAL DE APROXIMACIÓN"

Fecha

NOVIEMBRE/2024

Dibujo

CRISTHIAN RICARDO
ALMEIDA VILLARREAL
JONATHAN PATRICIO
QUIROZ ALMEIDA

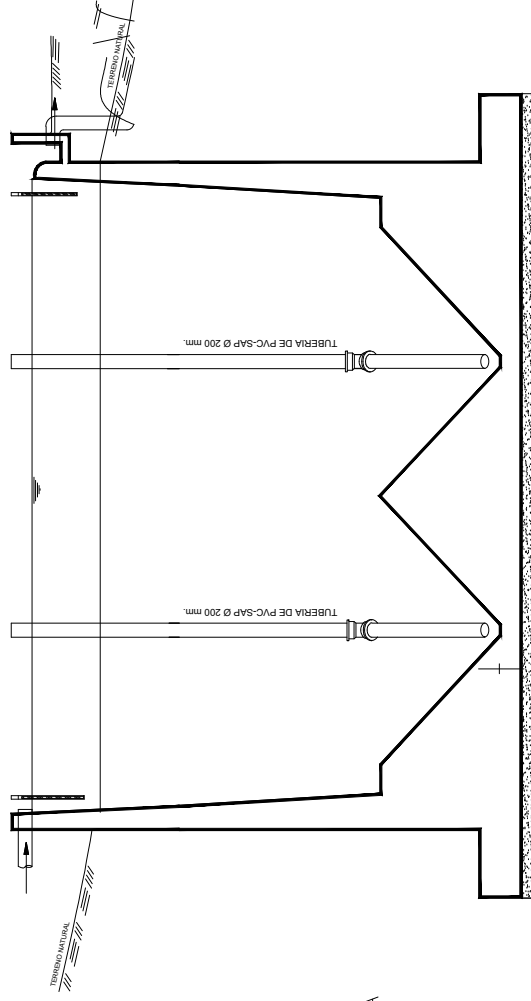
Tutora:

FERNANDA MEJIA

LAMINA No.

2/6

3.60



VA AL LECHO DE SECADO

TUBERIA DE PVC-SAP Ø 200 mm.

CAMARA DE SEDIMENTACION

ZONA NEUTRA

CAMARA DE DIGESTION

CORTE A - A

4.86

4.06

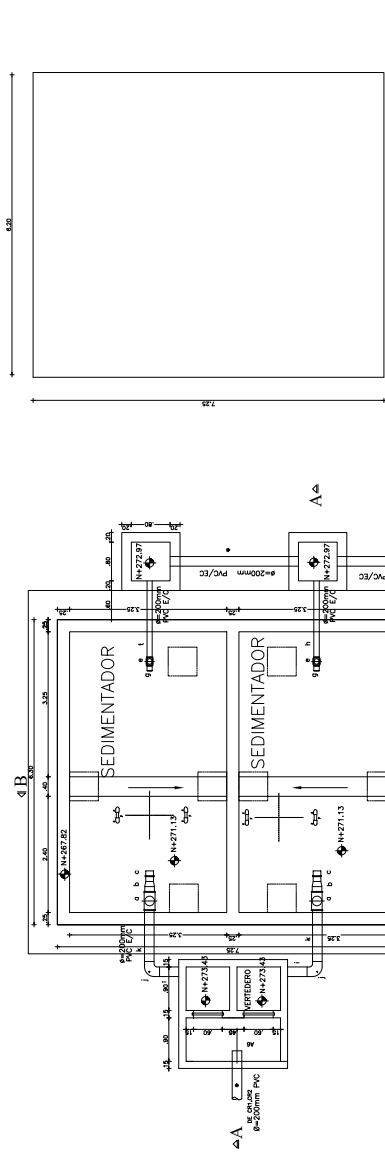
TÍTULO:

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LA
PARROQUIA CEVILLA
"TANQUES IMHOFF"

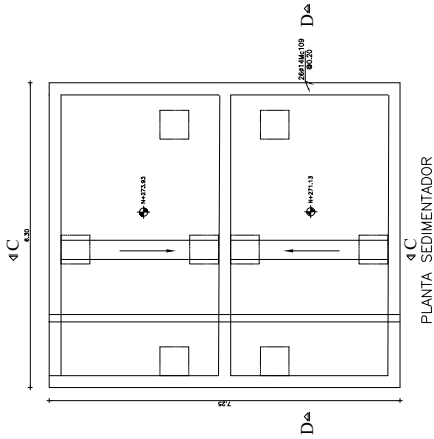
Dibujo	CRISTHIAN RICARDO ALMEIDA VILLARREAL
	JONATHAM PATRICIO QUIROZ ALMEIDA

4/6
MINA No.

FOSA SEPTICA

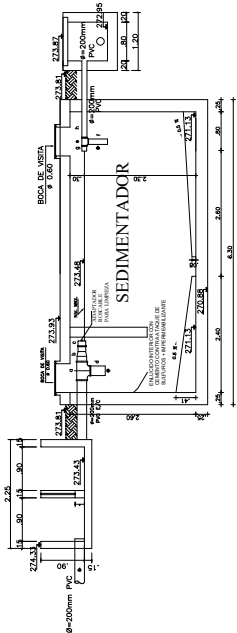


LOSA DE FONDO

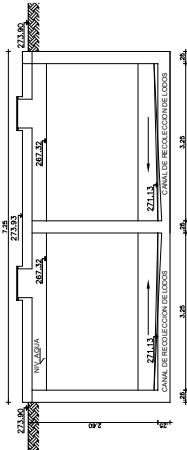


PLANTA SEDIMENTADOR

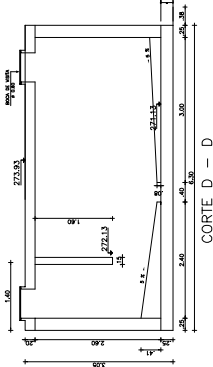
PLANTA



CORTE A - A

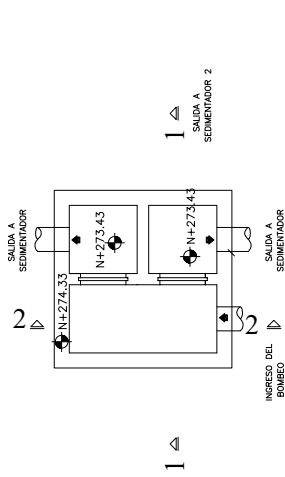


CORTE B - B

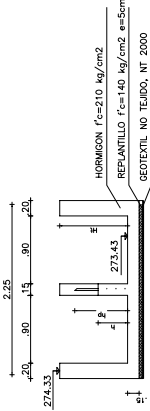


CORTE D - D

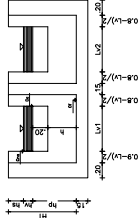
PLANTA



ARMADO CAJON ENTRADA
ELEVACION



CORTE 1 - 1



CORTE 2 - 2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

TÍTULO:

espol

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LA
PARROQUIA CEVILLA
"FOSA SEPTICA"

Fecha
NOVIEMBRE/2024

Dibujo
CRISTIAN RICARDO
ALMEIDA VILLAREAL
JONATHAN PATRICIO
QUIROZ ALMEIDA

Tutora:
FERNANDA MEJIA

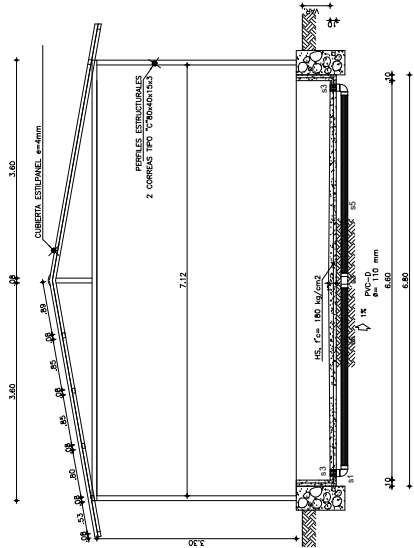
LAMINA No.
3/6

Technical drawing of a rectangular building layout. The drawing shows a rectangular structure with internal dimensions of 20.90 units. The layout includes two long horizontal sections, each with a central vertical element and two side vertical elements. The central vertical elements are labeled C1 and C7. The side vertical elements are labeled C2 and C8. The drawing also shows a cross-section of the structure, indicating a height of 20.90 units. The drawing is oriented vertically on the page.

	TÍTULO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LA PARROQUIA CEVILLA "HUMEDALES"		
Fecha NOVIEMBRE/2024	Dibujo CRISTIAN, RICARDO ALMEIDA, VILARREAL, JONATHAN, PATRICIO QUIROZ, ALMEIDA	Tutora: FERNANDA, MEJIA	LAMINA No. 6/6

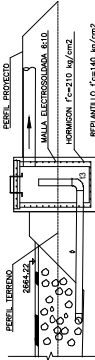
LECHO DE SECADO

LECHOS DE SECADO



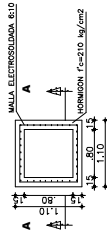
CORTE 2-2

CAJA DE REVISION
SALIDA ESTANQUE 0.80x0.80

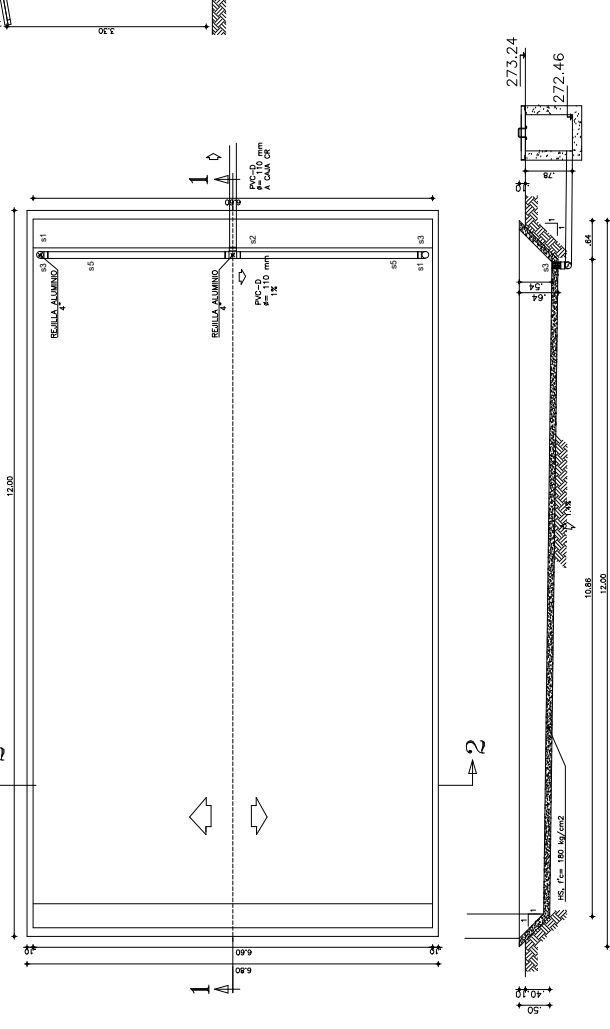


CORTE M - M

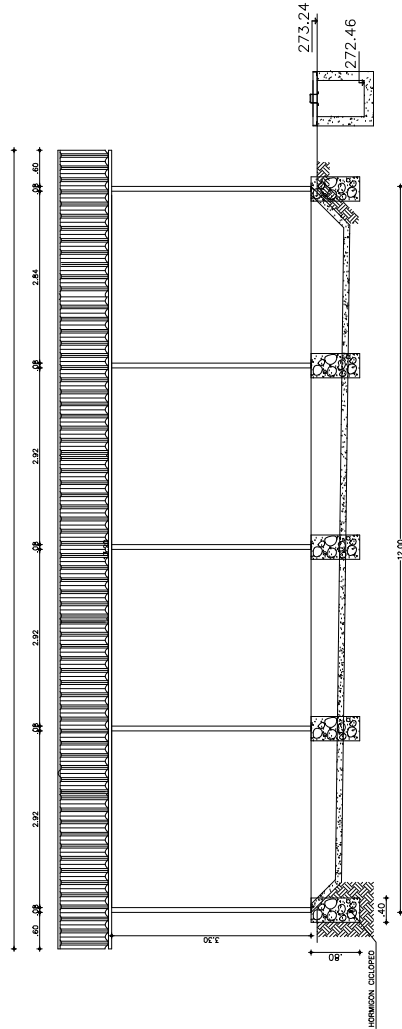
CAJA REVISION SALIDA (C/R)



PLANTA



CORTE 1-1



CORTE 1-1

LISTA ACCESORIOS LECHOS DE SECADO

ITEM	DESCRIPCION DEL RUBRO	UNID	CANTIDAD
S1	CORRIAS TIPO "C" 80x10x3	u	24
S2	REJILLA DE PVC 100x100mm	u	12
S3	REJILLA DE PVC 100x100mm	u	24
S4	TRAMO LARGO DE TUBERIA PVC 100mm	u	24
S5	TRAMO LARGO DE TUBERIA PVC 100mm	u	24

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

TÍTULO:

espol

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL LA
PARROQUIA CEVILLA
"LECHO DE SECADOS"

Fecha

NOVIEMBRE/2024

Dibujo

CRISTIAN RICARDO
ALMEIDA VILLARREAL
JONATHAN PATRICIO
QUIROZ ALMEIDA

Tutor(a):

FERNANDA MEJIA

LAMINA No.

5/6



ANEXO 1

PROYECTO:	Propuesta de repotenciación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del casco urbano de la Parroquia Sevilla, Cantón Cáscales, Provincia de Sucumbios, con un análisis del balance de carbono asociado.
UBICACIÓN:	Cáscales
PARROQUIA:	Sevilla
PROVINCIA:	Sucumbios
TUTOR:	Ing. Fernanda Mejía
ELABORADO POR:	Ing. Jonthan Quiroz
	Ing. Cristhian Almeida

PRESUPUESTO

CODIGO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
PRELIMINARES					
1	LIMPIEZA Y DESBROCE A MÁQUINA	m2	4070,00	1,27	5168,90
A. CRIBAS Y DESARENADOR					
2	REPLANTEO Y NIVELACIÓN	m2	24,13	0,88	21,23
3	EXCAVACION A MAQUINA SUELO NATURAL	m3	11,88	2,53	30,06
4	DERROCACIÓN DE LA CRIBA EXISTENTE A MAQUINA	m2	12,50	13,41	167,63
5	DESALOJO A MÁQUINA CON EQUIPO: CARGADORA FRONTAL Y VOLQUETA TIERRA/ESCOMBROS D=5-10KM	m3	16,40	3,52	57,73
6	MALLA ELECTROSOLDADA 150 X 150 X 10,0 mm	m2	28,20	11,47	323,45
7	HORMIGÓN SIMPLE DE REPLANTILLO F'C=180 KG/CM2	m3	1,20	144,46	173,35
8	HORMIGÓN PREMEZCLADO F'C=240 KG/CM2 (INCLUYE ENCOFRADO Y DESENCOFRADO)	m3	8,00	200,51	1604,08
9	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CRIBAS DE ACERO INOXIDABLE (13x13mm)	UNIDAD	1,00	135,10	135,10
10	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CRIBAS DE ACERO INOXIDABLE (5x5mm)	UNIDAD	1,00	145,96	145,96
CAJA DE DISTRIBUCIÓN A SEDIMENTADORES					
11	EXCAVACION A MAQUINA SUELO NATURAL	m3	4,90	2,53	12,40
12	RELLENO COMPACTADO CON LASTRE	m3	2,95	17,57	51,83
13	HORMIGÓN SIMPLE DE REPLANTILLO F'C=180 KG/CM2	m3	0,51	144,46	73,67
14	ACERO DE REFUERZO EN VARILLA CORRUGADA FY = 4200 KG/CM2(PROV. CONF. Y COLOCACION)	kg	600,00	2,29	1374,00
15	HORMIGÓN PREMEZCLADO EN LOSA F'C=240 KG/CM2 , ALISADO DE SUPERFICIE (INCLUYE ENCOFRADO Y DESENCOFRADO)	m3	4,08	251,78	1027,26
16	HORMIGÓN PREMEZCLADO EN MURO F'C=240 KG/CM2 (INCLUYE ENCOFRADO Y DESENCOFRADO)+INHIBIDOR DE CORROSIÓN	m3	2,39	227,91	544,70
17	JUNTA DE PVC 18 CM	m	5,00	13,36	66,80
18	COMPUERTA RECTANGULAR DE ALUMINIO E=4mm	UNIDAD	4,00	210,61	842,44
19	SUM.INST. TUBERÍA ALCANT. PVC D=220MM	m	37,25	29,93	1114,89
20	DESALOJO DE MATERIAL SOBRANTE	m3	5,00	2,62	13,10
TANQUES IMHOFF					
21	REPLANTEO Y NIVELACIÓN (EQUIPO TOPOGRÁFICO)	m2	89,38	0,88	78,65
22	EXCAVACION A MAQUINA SUELO NATURAL INC. MOTOBOMBA	m3	155,60	2,53	393,67
23	DESALOJO A MÁQUINA CON EQUIPO: CARGADORA FRONTAL Y VOLQUETA TIERRA/ESCOMBROS D=5-10KM	m3	155,60	3,52	547,71
24	RELLENO Y COMPACTADO CON PIEDRA BOLA	m3	10,40	19,38	201,55
25	SUMINISTRO, TENDIDO Y COMPACTADO MANUAL SUB BASE CLASE 3"	m3	10,40	20,15	209,56
26	ACERO DE REFUERZO EN VARILLA CORRUGADA FY = 4200 KG/CM2(PROV. CONF. Y COLOCACION)	kg	3300,00	2,29	7557,00
27	HORMIGÓN SIMPLE DE REPLANTILLO F'C=180 KG/CM2	m3	1,73	144,46	249,92
28	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CINTA PVC IMPERMEABILIZANTE E:18CM	m	192,00	18,27	3507,84
29	HORMIGÓN PREMEZCLADO EN LOSA DE CIMENTACIÓN F'C= 40KG/CM2 (INCLUYE ENCOFRADO Y DESENCOFRADO)+INHIBIDOR DE CORROSION	m3	10,40	218,82	2275,73
30	HORMIGÓN PREMEZCLADO EN MURO F'C=240 KG/CM2 (INCLUYE ENCOFRADO Y DESENCOFRADO)+INHIBIDOR DE CORROSIÓN	m3	30,80	227,91	7019,63
31	HORMIGÓN PREMEZCLADO EN VIGAS F'C=240 KG/CM2 (INCLUYE ENCOFRADO Y DESENCOFRADO)+INHIBIDOR DE CORROSIÓN	m3	1,15	252,40	290,26
32	HORMIGÓN PREMEZCLADO EN LOSA F'C=240 KG/CM2 , ALISADO DE SUPERFICIE (INCLUYE ENCOFRADO Y DESENCOFRADO)	m3	6,95	251,78	1749,87
33	CAJA DE REVISIÓN H.S. 0.70X0.70M, H=1.20M, CON TAPA H.A, F'C=180KG/CM2	UNIDAD	3,00	179,39	538,17

34	VERTEDERO TRIANGULAR DE ALUMINIO E=4MM	UNIDAD	3,00	161,12	483,36
35	SUM.INST. TUBERÍA ALCANT. PVC D=220MM	m	13,50	29,93	404,06
36	MEJORAMIENTO DE SUELO, E=0.20 M	m3	6,95	20,15	140,04
	B.1 ACCESORIOS				
37	TUBERIA PVC-D	m	14,35	2,15	30,85
38	TEE PVC	UNIDAD	6,00	6,96	41,76
39	TAPON PVC-H	UNIDAD	3,00	1,56	4,68
40	CODO PVC-90º	UNIDAD	6,00	3,12	18,72
	C. LECHO DE SECADOS				
41	REPLANTEO Y NIVELACIÓN (EQUIPO TOPOGRÁFICO)	m2	79,00	0,88	69,52
42	DESALOJO A MÁQUINA CON EQUIPO: CARGADORA FRONTAL Y VOLQUETA TIERRA/ESCOMBROS D=5-10KM	m3	39,50	3,52	139,04
43	DESMONTAJE DE ESTRUCTURA METALICA EXISTENTE	kg	500,00	3,00	1500,00
44	ACERO ESTRUCTURAL A36(INCLUYE ARMADO, MONTAJE, PINTURA ANTICORROSIVA)	kg	350,00	3,91	1368,50
45	SUMINISTRO E INSTALACION DE CUBIERTA DE PANELES DE ACERO PREPINTADO E=0.40MM	m2	79,00	16,87	1332,73
	D. HUMEDALES				
46	REPLANTEO Y NIVELACIÓN (EQUIPO TOPOGRÁFICO)	m2	5733,00	0,84	4815,72
47	EXCAVACIÓN A MÁQUINA SIN NF 1.5<H<=3.00M	m3	3120,00	4,52	14102,40
48	CONFORMACIÓN DE TALUDES	m3	160,00	8,65	1384,00
49	COMPACTACIÓN DE FONDO	m2	5200,00	1,52	7904,00
50	RELLENO Y COMPACTADO CON MATERIAL DE EXCAVACIÓN	m3	180,00	15,00	2700,00
51	DESALOJO A MÁQUINA CON EQUIPO: CARGADORA FRONTAL Y VOLQUETA TIERRA/ESCOMBROS D=5-10KM	m3	3000,00	3,52	10560,00
52	GEOMEMBRANA DE POLIETILENO E=1.0MM	m2	5733,00	6,07	34799,31
53	COLOCACIÓN DE PIEDRA 1/2" A 6"	m3	3000,00	19,38	58140,00
54	CAJA DE REVISIÓN H.S. 0.60X0.60M, LADRILLO MAMBRÓN CON TAPA H.A	UNIDAD	28,00	160,52	4494,56
55	REPLANTILLO HS F'C=140KG/CM2	m3	1,50	144,46	216,69
56	RELLENO DE RIPO APISONADO, E=0.20M	m3	450,00	25,20	11340,00
57	SUM.INST. TUBERÍA ALCANT. PVC D=220MM	m	286,50	29,23	8374,40
58	HORMIGÓN SIMPLE F'C=210 KG/Cm2	m3	15,00	170,77	2561,55
59	POZO REVISIÓN H.S. H DE 2 A 4.0 M, F'C=210 KG/CM2, CON TAPA H.F	UNIDAD	3,00	1103,77	3311,31
60	ARENA PARA SIEMBRA DE PLANTAS	m3	210,00	13,70	2877,00
61	ABONO PARA SIEMBRA DE PLANTAS	m3	210,00	2,50	525,00
62	SIEMBRA DE PASTO DE ESPECIE LOCAL (ALEMAN) H<2.0M (3 CADA M2)	m2	2318,00	7,37	17083,66
63	LASTRADO DE INGRESO	m3	160,00	20,00	3200,00
	D.1 ACCESORIOS				0,00
64	TUBERIA PVC TRAMO LARGO	m	291,00	2,15	625,65
65	TEE PVC	UNIDAD	26,00	6,96	180,96
66	TRAMO LARGO DE TUB. PERFORADA PVC	m	390,00	2,15	838,50
67	TAPON H-PVC	UNIDAD	52,00	1,56	81,12
68	CODO FLEX 90°	UNIDAD	13,00	3,12	40,56
69	TRAMO CORTO DE TUBERÍA PVC	m	26,00	2,15	55,90
	E. AMBIENTAL				
70	CERRAMIENTO PROVISIONAL EN MADERA Y LONA VERDE H:2.1M	m	400,00	6,53	2612,00
71	ALQUILER DE BATERIA SANITARIA PORTÁTIL	UNIDAD	1,00	303,70	303,70
72	CASETA PROVISIONAL PARA ALMACENAMIENTO DE DESECHOS (3.50X1.50M), INCLUYE 4 TACHOS	UNIDAD	1,00	899,35	899,35
73	CHARLAS DE CAPACITACIÓN AL PERSONAL: MANEJO AMBIENTAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL, INCL. EQUIPOS	UNIDAD	1,00	109,60	109,60

	TOTAL	237217,11
--	-------	-----------