

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Plan Piloto de Provisión de Servicios Básicos para Comunidades
Autosustentables de Tierras Altas o Páramo Andino con
Sensibilidad Ambiental.**

Juan Sebastián Proaño Barrientos

Ingeniería Civil

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero Civil

Quito, 19 de diciembre de 2022

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Plan Piloto de Provisión de Servicios Básicos para Comunidades
Autosustentables de Tierras Altas o Páramo Andino con Sensibilidad
Ambiental.**

Juan Sebastián Proaño Barrientos

Nombre del profesor, Título académico

Sixto Durán-Ballén Ochoa, PhD.

Quito, 19 de diciembre de 2022

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Juan Sebastián Proaño Barrientos

Código: 00205760

Cédula de identidad: 1719565044

Lugar y fecha: Quito, 19 de diciembre de 2022

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

RESUMEN

Los servicios básicos como el agua potable, la energía eléctrica, y el alcantarillado sanitario son un derecho del ser humano para garantizar una calidad de vida adecuada. En la mayoría de las ocasiones, la provisión de estos servicios afecta en gran medida al ambiente, resultando en contaminación, perturbaciones ambientales, y efectos adversos al ecosistema. Al tener en cuenta la sostenibilidad ambiental, es posible realizar un diseño de infraestructura que permita la utilización de recursos hídricos para el desarrollo humano, sin perturbar el medio ambiente. En este proyecto, se presenta un plan piloto que consiste en la realización de estudios hídricos e hidrológicos, estudios de consumo de agua, estudios de calidad del agua, y otros estudios adicionales. Estos son utilizados como datos de entrada, para obtener el diseño de trece estructuras para el abastecimiento de agua potable y alcantarillado sanitario de una comunidad de autogestión, bajo ciertas restricciones ambientales. Adicional a la obtención de los diseños de las obras civiles, se presenta un presupuesto aproximado del costo de todos y cada una de las estructuras y un análisis del impacto ambiental producido por la construcción de los sistemas propuestos, junto con las recomendaciones para una remediación ambiental. Convirtiendo así a las obras civiles diseñadas en una tecnología preventiva y de remediación para la protección del ambiente, que logra satisfacer la demanda de servicios básicos.

Palabras clave: Ingeniería civil, hidráulica, hidrología, ingeniería ambiental, ingeniería sanitaria, servicios básicos, autosustentable, captación, sensibilidad ambiental.

ABSTRACT

Basic services such as drinking water, electricity and sanitary sewerage are a human right to guarantee an adequate quality of life. In most cases, the provision of these services greatly affects the environment, resulting in pollution, environmental disturbances, and detrimental effects on the ecosystem. By considering the relevant environmental aspects, it is possible to carry out an infrastructure design that allows the use of water resources for human development, without disturbing the environment. In this project, a pilot plan is presented, which consists of conducting water and hydrological studies, water consumption studies, water quality studies, and other additional studies. These are used as input data, to obtain the design of thirteen structures for the supply of drinking water and sanitary sewerage of a self-managed community, under certain environmental restrictions. In addition of these designs, an approximate budget of the total cost of the system, and an analysis of the environmental impact made by the construction of the proposed systems are presented, along with recommendations for environmental remediation. Thus, turning civil works into a preventive and remedial technology for the protection of the environment, satisfying basic services demand.

Key words: Civil engineering, hydraulics, hydrology, environmental engineering, sanitary engineering, basic services, self-sustaining, catchment, environmental sensitivity.

DEDICATORIA

Este proyecto integrador lo dedico primeramente a Dios, por ser quién me ha dado la fuerza y la capacidad de perseverar hasta alcanzar. A mis padres, por su apoyo incondicional, su trabajo, y sobre todo su interés y preocupación por mi desarrollo, no solo académico sino como persona. A mis hermanas quiénes siempre han demostrado su apoyo en los momentos más difíciles. A todas aquellas personas que han demostrado interés y entusiasmo por mi carrera.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer principalmente a Dios, por ser pilar fundamental de este trabajo, a mis padres, y a toda mi familia por el constante apoyo.

Mi profundo agradecimiento a todo el personal docente de la carrera de Ingeniería Civil, que no solo impartieron la enseñanza de sus valiosos conocimientos, sino que permitieron y fomentaron el crecimiento de mi persona como profesional. Gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Ing. Diego Proaño, no solo por ser quién más apoyo brindó para realizar este proyecto, sino por ser formador, guía, maestro, y amigo a lo largo de estos cuatro años y medio de vida universitaria. De igual manera agradezco a la Cooperativa de Producción San José de la Unidad, por financiar los estudios para este proyecto. Y finalmente, quiero expresar todo mi agradecimiento al Dr. Sixto A. Durán-Ballén que, durante todo este proceso, con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración, permitió el desarrollo de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	17
1. Diagnóstico	17
2. Marco Teórico	17
3. Planteamiento del problema	18
4. Objetivos	19
a. Objetivo general	19
b. Objetivos específicos	19
5. Metodología	20
a. Tipo de investigación	20
b. Confiabilidad y replicabilidad	21
c. Herramientas de investigación.....	21
CAPÍTULO 1 – ÁREA DE ESTUDIO.....	23
1.1 Datos geográficos, región, zonificación, y meteorología.	23
1.2 Diagnóstico ambiental actual	28
CAPÍTULO 2 – DEMANDA HÍDRICA.....	30
2.1 Población y crecimiento.....	30
2.2 Dotación y consumo de agua	30
2.3 Demanda Hídrica	36
2.4 Caudal de Aguas residuales	37
2.5 Caudal contra incendios	38
2.6 Caudal Total.....	39
CAPÍTULO 3 - HIDROLOGÍA	41
3.1 Oferta Hídrica	41
3.2 Cuencas hidrográficas	44

3.3	Coeficiente de escorrentía	47
3.4	Balance Hídrico:	50
3.5	Rendimiento de agua mensual	52
3.6	Fuentes Hídricas	53
3.7	Calidad del agua.....	58
3.8	Permeabilidad del suelo.....	58
CAPÍTULO 4 - PROPUESTA.....		60
4.1	Abastecimiento de agua potable	60
4.2	Abastecimiento de agua cruda.....	62
4.3	Sistema de alcantarillado	63
CAPÍTULO 5 - DISEÑOS.....		66
5.1	Obra de Captación Superficial	66
5.2	Estación de tratamiento.....	72
5.3	Proceso de pretratamiento	74
5.4	Proceso de Sedimentación	76
5.5	Proceso de Filtración	83
5.6	Proceso de desinfección	87
5.7	Tanques de almacenamiento.....	92
5.8	Sistema contra incendios	93
5.9	Sistema de distribución al usuario.....	96
5.10	Sistema de alcantarillado y manejo de residuos.....	102
5.10.1	Pretratamiento de aguas residuales.....	103
5.10.2	Tratamiento primario.....	106
5.10.3	Tratamiento secundario.....	108
CAPÍTULO 6 - PRESUPUESTO		114
6.1	Inversión inicial.....	114

6.2 Costo de operación y mantenimiento	117
6.3 Tarifa por consumo.....	118
CAPÍTULO 7 - RESULTADOS	120
7.1 Utilización de áreas	120
7.2 Evaluación del impacto ambiental	121
7.3 Límites ambientales	124
CAPÍTULO 8 – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	127
8.1 Conclusiones	127
8.2 Ventajas y desventajas.....	128
8.3 Recomendaciones	130
8.4 Dificultades y limitaciones.....	131
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	133
Anexo A: CÁLCULO DE CURVATURA DE AZUD	138
Anexo B: INFORME DE MEDICIÓN DE CAUDALES RIACHUELO ALPATOLA	140
Anexo C: ESTUDIO DE CALIDAD DEL AGUA	157

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen de utilización de áreas del proyecto [Proaño J.S 2022].	24
Tabla 2: Consumos residenciales típicos [López R. 2003].	31
Tabla 3: Factores e Incrementos [Proaño J.S. 2022]	32
Tabla 4: Consumo de agua doméstico [Proaño J.S 2022].	32
Tabla 5: Consumos típicos de los sectores comercial e industrial [López R. 2003].	33
Tabla 6: Consumo promedio neto público y de producción [Proaño J.S. 2022].	34
Tabla 7: Consumo Neto [Proaño J.S. 2022].	34
Tabla 8: Consumo total [Proaño J.S. 2022].	35
Tabla 9: Consumo de agua cruda [Proaño J.S. 2022].	36
Tabla 10: Constantes para caudales residuales [Proaño J.S 2022].	38
Tabla 11: Coeficientes de incendio para materiales de construcción [López R. 2003].	39
Tabla 12: Resumen de Caudal Total [Proaño J.S. 2022]	40
Tabla 13: Cálculo de área de cuenca [Proaño J.S. 2022].	46
Tabla 14: Tipo de cobertura vegetal del proyecto [Proaño J.S. 2022].	48
Tabla 15: Método de Molchanov para aproximación de coeficientes de escorrentía [Ibáñez, A. et. al, 2015].	49
Tabla 16: Método de Prevert para aproximación de coeficientes de escorrentía [Ibáñez, A. et. al, 2015].	49
Tabla 17: Coeficientes de escorrentía [Proaño J.S. 2022].	50
Tabla 18: Balance hídrico [Proaño J.S. 2022].	51
Tabla 19: Oferta Hídrica promedio, anual, y mensual [Proaño J.S. 2022].	52
Tabla 20: Rendimiento de agua [Proaño J.S. 2022].	53

Tabla 21: Precipitaciones mensuales para estación de Izobamba [INAMHI, 2013].	54
Tabla 22: Precipitaciones mensuales para estación de Papallacta [INAMHI, 2013].	54
Tabla 23: Precipitaciones mensuales de estaciones Papallacta e Izobamba [Proaño J.S. 2022].	55
Tabla 24: Caudales de la Quebrada Alpatola [Proaño J.S. 2022].	56
Tabla 25: Caudal del río y distribución temporal [Proaño J.S. 2022].	56
Tabla 26: Resultados de ensayo de permeabilidad [Proaño J.S. 2022].	59
Tabla 27: Parámetros para obra de captación [Proaño J.S. 2022].	66
Tabla 28: Dimensiones de cimentación de azud [Proaño J.S. 2022].	69
Tabla 29: Procesos de remoción [Proaño J.S. 2022].	74
Tabla 30: Características de partícula crítica [Proaño J.S. 2022].	77
Tabla 31: Parámetros del desarenador [Proaño J.S. 2022].	78
Tabla 32: Dimensiones para desarenador de agua potable [Proaño J.S. 2022].	80
Tabla 33: Propiedades del tanque de filtración [Proaño J.S. 2022].	83
Tabla 34: Desglose de caudales mayorados de agua cruda [Proaño J.S. 2022].	94
Tabla 35: Resumen de volúmenes para almacenamiento [Proaño J.S. 2022].	94
Tabla 36: Recomendaciones y rediseño de área comunal [Proaño J.S. 2022].	95
Tabla 37: Parámetros hidráulicos para distribución de agua potable al usuario [Proaño J.S. 2022].	98
Tabla 38: Distribución de tuberías para agua potable [Proaño J.S. 2022].	98
Tabla 39: Potencia de bombas para sistemas de distribución [Proaño J.S. 2022].	99
Tabla 40: Condiciones de cálculo para distribución de agua cruda [Proaño J.S. 2022].	100
Tabla 41: Parámetros hidráulicos de distribución de agua cruda [Proaño J.S. 2022].	101
Tabla 42: Distribución de tuberías para agua cruda [Proaño J.S. 2022].	101

Tabla 43: Condiciones de cálculo para distribución de aguas residuales [Proaño J.S. 2022].	101
Tabla 44: Parámetros hidráulicos de distribución de aguas residuales [Proaño J.S. 2022]. ...	102
Tabla 45: Distribución de tuberías para aguas residuales [Proaño J.S. 2022].	102
Tabla 46: Factores de corrección de zanjas [Proaño J.S. 2022].	110
Tabla 47: Análisis de precios unitarios por obra a construir [Proaño J.S. 2022].	115
Tabla 48: Desglose de costos de operación y mantenimiento [Proaño J.S. 2022].	118
Tabla 49: Costo a pagar por mes por familia a lo largo del periodo de 30 años [Proaño J.S. 2022].	119
Tabla 50: Utilización de área por infraestructura [Proaño J.S. 2022].	120
Tabla 51: Resumen de utilización de áreas para infraestructura hidráulica y sanitaria [Proaño J.S. 2022].	121
Tabla 52: Escala de evaluación para impacto ambiental [Proaño J.S. 2022].	122
Tabla 53: Evaluación ambiental de los sistemas e infraestructura propuesta [Proaño J.S 2022].	123
Tabla 54: Promedio de impacto ambiental [Proaño J.S. 2022].	124
Tabla 55: Clasificación de áreas críticas ambientalmente [Proaño J.S 2022].	125

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Referencia geográfica del proyecto [Google Earth, 2022].	23
Figura 2: Referencia y ubicación del sitio [Google Earth, 2022].	24
Figura 3: Mapa turístico del Parque Nacional Cayambe-Coca [Ministerio de Turismo del Ecuador, 2022].	25
Figura 4: Punto de Referencia para datos atmosféricos [NASA ASCD, 2021].	27
Figura 5: Temperatura a 2 metros de altura [NASA ASCD, 2021].	27
Figura 6: Relación de flujos extremos respecto al caudal medio diario [López R., 2003].	38
Figura 7: Estaciones Pluviográficas del Ecuador [INAMHI 2015].	41
Figura 8: Mapa de Precipitación Anual [INAMHI, 2015].	42
Figura 9: Mapa de Evapotranspiración Anual [INAMHI, 2015].	42
Figura 10: Mapa de Escorrentía Anual [INAMHI, 2015].	43
Figura 11: Mapa de infiltración del suelo [IEE, 2007].	43
Figura 12: Dibujo en Google Earth de posible cuenca hidrográfica [Google Earth, 2022].	44
Figura 13: Dibujo de triángulos por método manual gráfico [Proaño J.S. 2022].	45
Figura 14: Distribución temporal de precipitación [Proaño J.S. 2022].	55
Figura 15: Curva de duraciones de Quebrada Alpatola [Proaño J.S. 2022].	57
Figura 16: Ensayo de permeabilidad in-situ [Proaño J.S. 2022].	58
Figura 17: Esquema referencial de provisión de servicios [Proaño J.S. 2022].	60
Figura 18: Esquema para cálculo de curvatura del muro [Proaño J.S. 2022].	67
Figura 19: Perfil de Azud para caudal de crecida [Proaño J.S. 2022].	68
Figura 20: Perfil de Azud para caudal de estiaje [Proaño J.S. 2022].	68
Figura 21: Dimensiones de cimentación para azud [Proaño J.S. 2022].	69
Figura 22: Vista lateral de azud y orificio [Proaño J.S. 2022].	71

Figura 23: Vista superior de azud y orificio [Proaño J.S. 2022].....	71
Figura 24: Modelo 3D referencial de obra de captación [J.S. Proaño].....	72
Figura 25: Resultados de ensayo de calidad del agua Quebrada Alpatola [ANAVANLAB, 2022].....	73
Figura 26: Vista transversal de malla en orificio [Proaño J.S. 2022].	75
Figura 27: Vista transversal de malla en entrada del desarenador [Proaño J.S. 2022].	75
Figura 28: Esquema y nomenclatura para vista lateral de desarenador [Proaño J.S. 2022]. ...	76
Figura 29: Esquema y nomenclatura para vista superior de desarenador [Proaño J.S. 2022]. .	76
Figura 30: Esquema y nomenclatura para vista transversal de desarenador [Proaño J.S. 2022].	77
Figura 31: Vista superior del desarenador [Proaño J.S. 2022].	81
Figura 32: Vista lateral del desarenador [Proaño J.S. 2022].....	81
Figura 33: Vista transversal del desarenador [Proaño J.S. 2022].	82
Figura 34: Modelo 3D referencial de desarenador [J.S. Proaño].....	82
Figura 35 Filtro intermedio vista lateral [Proaño J.S. 2022].....	85
Figura 36: Esquema filtro intermedio vista transversal [Proaño J.S. 2022].	86
Figura 37: Esquema de pantalla de salida vista transversal [Proaño J.S. 2022].	86
Figura 38: Esquema filtro intermedio vista superior [Proaño J.S. 2022].....	87
Figura 39: Modelo 3D referencial para filtros en paralelo [J.S. Proaño].....	87
Figura 40: Pastillas de tricloro [Gianni, 2022].....	90
Figura 41: Cámara de cloración vista superior, lateral, y transversal [Proaño J.S. 2022].	91
Figura 42: Modelo 3D referencial de tanque de desinfección [J.S. Proaño].	91
Figura 43: Modelo 3D referencial de cisterna [Proaño J.S. 2022].....	93
Figura 44: Modelo 3D referencial de tanque elevado [Proaño J.S. 2022].	96

Figura 45: Bomba de agua centrífuga 1.25"X1" 1.5 HP para agua limpia y líquidos no corrosivos [HYUNDAI 82HYCPM180M].	100
Figura 46: Esquema referencial de acomodación de tuberías de conducción de los sistemas propuestos.	102
Figura 47: Sistema de pretratamiento de aguas residuales, vista superior [Proaño J.S. 2022].	105
Figura 48: Sistema de pretratamiento de aguas residuales, vista lateral [Proaño J.S. 2022].	105
Figura 49: Sistema de pretratamiento de aguas residuales, vista transversal [Proaño J.S. 2022].	106
Figura 50: Modelo 3D referencial de estructura de pretratamiento de aguas residuales.	106
Figura 51: Esquema desarenador de aguas residuales vista lateral [Proaño J.S. 2022].	107
Figura 52: Esquema desarenador de aguas residuales vista superior [Proaño J.S. 2022].	107
Figura 53: Esquema desarenador de aguas residuales vista transversal [Proaño J.S. 2022].	108
Figura 54: Modelo 3D referencial de trampa de grasas y desarenador para aguas residuales [J.S. Proaño].	108
Figura 55: Distribución de zanjas vista superior [Proaño J.S. 2022].	112
Figura 56: Distribución de zanjas vista transversal [Proaño J.S. 2022].	112
Figura 57: Distribución de zanjas vista lateral [Proaño J.S. 2022].	112
Figura 58: Modelo 3D referencial de zanja de infiltración de aguas residuales [Proaño J.S. 2022].	113
Figura 59: Distribución de áreas críticas del proyecto [Proaño J.S. 2022].	125

INTRODUCCIÓN

1. Diagnóstico

El agua potable, la energía eléctrica, y el saneamiento, son servicios básicos que garantizan una vida digna para todo ser humano. Debido a su importancia e impacto en la calidad de vida de los seres humanos, se llega a decir que estos servicios son un derecho del ciudadano. Comúnmente en el Ecuador, estos servicios son provistos por una entidad pública. Debido a la expansión urbana, y al crecimiento acelerado de la sociedad, quienes se encargan del manejo y distribución de los recursos hídricos y eléctricos son las instituciones municipales, en el caso de Quito; la EMAPS, y la Empresa Eléctrica, respectivamente. Este desarrollo y modernización contribuyen en la decisión de comunidades alejadas del centro urbano, para dejar sus tierras y su fuente de producción e ingresos. Lo que en consecuencia provoca una calidad de vida baja y en condiciones de pobreza ya que su situación no permite un ingreso económico adecuado.

2. Marco Teórico

El concepto Económico, Social, y Ambiental detrás de este proyecto está definido como un equilibrio, en el cual cada una de estas partes es respetada y aprovechada, para así generar un balance y poder llamar a una pequeña ciudad, autosustentable y sostenible. Este concepto ha sido planteado en repetidas ocasiones como criterio de vida para gobiernos, naciones, comunidades, etc. Sin embargo, el exceso de producción para maximizar el progreso ha obligado a ceder el valor social y ambiental, frente al económico (Proaño M. 2000). La producción de alimentos será para consumo interno de la comunidad, mientras que el sobrante será para venta externa, manteniendo el criterio ambiental de la no sobreexplotación (Paredes H. 2006). Por tal razón, la Cooperativa de Producción San José de la Unidad, con sede en el

cantón Quito y parroquia Tumbaco, ha desarrollado investigaciones previas como parte de un plan piloto de comunidades autosustentables, el cual tiene el objetivo de ser una comunidad sustentable y sostenible por sus propios medios.

Este proyecto es multidisciplinario de manera que no puede ser abarcado únicamente por un área o profesión en su totalidad. Requiere estudios sociológicos, agrícolas, ganaderos, hídricos, hidráulicos, eléctricos, sanitarios, geotécnicos, topográficos, estructurales, arquitectónicos, viales, y un sin número de estudios adicionales. Sin embargo, la ingeniería civil es aquella rama que diseña, planifica, y construye aquellos proyectos que satisfagan las necesidades del ser humano. Históricamente, los ingenieros civiles fueron aquellos que consolidaban las ciudades y hacían de estas, un lugar cómodo para vivir.

3. Planteamiento del problema

Siendo este proyecto base el planteamiento de propuestas para la provisión de recursos básicos de una ciudad reducida en tamaño, sin afectar al ecosistema, es necesario acatar los criterios de ingeniería civil en conjunto con una responsabilidad ambiental. Este estudio se enfoca en temas relacionados con recursos hídricos y con el saneamiento y alcantarillado.

La construcción de infraestructura que permite el aprovechamiento de recursos muchas veces es a grandes escalas, y para su ejecución se impacta de manera negativa al medio ambiente. Esto lógicamente resulta en una afectación directa al ecosistema, afectando a flora y fauna. Si se habla de una construcción como una central hidroeléctrica, se asocia esta palabra con el concepto de represa, lo cual es un proceso invasivo y no conveniente en lugares con alta sensibilidad ambiental. Por esta razón, se propone la realización de estudios hidrológicos, meteorológicos, de consumo, y de calidad del agua, para finalmente proveer de un diseño

adecuado que afecte al ambiente en un porcentaje bajo, cuya evaluación consiste en un análisis de utilización de áreas, impacto de procesos constructivos, e invasión al ambiente.

Este proyecto plantea como solución para el problema planteado por parte de la Cooperativa de Producción San José de la Unidad; el diseño sustentado en estudios relevantes del abastecimiento del agua potable con una cobertura del 100% para la comunidad de 200-300 personas establecida. Posteriormente se desarrolla el plan de depuración de aguas residuales, tanto aguas grises como aguas negras, y su reintegración al río o naturaleza según indique el estudio.

4. Objetivos

a. Objetivo general

- Elaborar un plan piloto de diseño para el abastecimiento de recursos básicos para una comunidad autosustentable generando el menor impacto ambiental posible.

b. Objetivos específicos

- Realizar y presentar los estudios relevantes para el diseño y planeación del abastecimiento de recursos básicos, tales como; estudio hidrológico, de infiltración en suelos, levantamiento de curvas topográficas, y estudio de fuentes hídricas.
- Proveer del diseño de obras e infraestructura hidráulica necesarias para el tratamiento de agua cruda y en consecuencia el servicio de agua potable, con una solución sustentable y sostenible.

- Proveer del planteamiento y diseño de obras civiles para la obtención de servicios de saneamiento y depuración de aguas residuales.
- Realizar una propuesta económica, de bajo impacto ambiental, y socialmente correcta (S.E.A.) para los servicios de agua potable y alcantarillado.

5. Metodología

a. Tipo de investigación

Este trabajo se divide en siete secciones principales, las cuales tienen su propia metodología de investigación.

- Para el primer capítulo, se realiza una investigación profunda de las condiciones ambientales y de consumo, y de parámetros existentes en la zona y población del proyecto. Estas condiciones y parámetros pueden ser consultadas en bibliografías y referencias, así como calculadas de manera experimental si se cuenta con los equipos necesarios.
- Los capítulos dos y tres corresponden a los estudios: de consumo, hídrico, e hidrológico del proyecto, para obtener todos los datos necesarios para el diseño del abastecimiento de agua potable. Todo lo desarrollado en estas secciones garantiza que el agua sea suficiente y de una calidad adecuada para el consumo humano.
- El cuarto capítulo dedica su contenido a la explicación de cada uno de los elementos a diseñar, bajo qué parámetros, qué condiciones, recomendaciones, y la viabilidad de cada uno.

- El quinto capítulo es propiamente el cálculo técnico y diseño de cada uno de los elementos, equipos, y estructuras a realizar en el proyecto para abastecer de agua potable y alcantarillado sanitario, de manera sostenible y sustentable.
- El sexto capítulo es el análisis económico realizado en función del presupuesto referencial calculado para el proyecto.
- El séptimo capítulo contiene los resultados, donde se cuantifica el impacto ambiental, obteniendo así los resultados de la viabilidad y la afectación ambiental.
- El octavo y último capítulo ofrece un análisis y discusión de los resultados y de la infraestructura, así como recomendaciones para el programa de operación y mantenimiento de cada una.

b. Confiabilidad y replicabilidad

Siendo este documento basado en criterios, métodos, recomendaciones de bibliografía, y juicio de expertos, es posible replicar la metodología de investigación y de diseño, mientras se acate a las condiciones del sitio y proyecto a evaluar. La investigación de toda la información ambiental, parámetros ambientales, es necesaria para poder realizar cálculos para el diseño de elementos que permitan el abastecimiento de cada uno de los recursos básicos mencionados, según las normativas vigentes en el país y los criterios correspondientes.

c. Herramientas de investigación

La metodología usada combina los conocimientos aprendidos en las materias de Mecánica de Fluidos, Ingeniería Hidráulica, e Ingeniería Sanitaria, en complemento con el resto de los

cursos de Ingeniería Civil, y principios básicos de Ingeniería Ambiental. La información principal del primer capítulo se obtiene de las instituciones ecuatorianas como IGM, INAMHI, MAE, e internacionales como NASA ASDC.

Ciertos estudios fueron realizados mediante programas de análisis de datos y diseño, salidas de campo, y por compañías expertas. Los cálculos y diseños elaborados a lo largo de este documento son fundamentados principalmente en las bibliografías de Jhon E. Gribbin, Ricardo Lopez, Terrence J. McGhee, y J. Glynn Henry.

CAPÍTULO 1 – ÁREA DE ESTUDIO

En este capítulo se resumen todos los antecedentes del proyecto, incluyendo toda la información relevante a factores ambientales, geográficos, meteorológicos, agrícolas, agropecuarios, de consumo y producción, de vivienda, y otros adicionales.

1.1 Datos geográficos, región, zonificación, y meteorología.

El proyecto tiene su ubicación en los alrededores de la Quebrada Alpatola, en Peñas Blancas. Ubicado al Sureste de Pichincha en la vía hacia Papallacta. Bajo el régimen del Distrito Hídrico (DH) Esmeraldas en el sector ES-03 Guayllabamba, limitando a su derecha con el DH Napo. El terreno según las escrituras consta de un área total de 113.21 Ha.



Figura 1: Referencia geográfica del proyecto [Google Earth, 2022].

De acuerdo con el número de predio de los lotes, el COS para cada lote es del 2%, obteniendo un área utilizable en planta baja total de 2.26 Ha. Esto se divide para las construcciones necesarias, que según los requisitos del proyecto son 50-60 casas, un centro

comunal, fábricas de alimentos, y las vías de acceso dentro del sector. Esto se plantea de acuerdo con el siguiente resumen de áreas.

Tabla 1: Resumen de utilización de áreas del proyecto [Proaño J.S 2022].

Infraestructura	Área [m ²]	Cantidad	Unidad	Pisos	Subsuelos	Área en planta	Área en planta total	Unidad	Construible
Centro Comunal	3000.00	1	Estab.	2	1	1000.00	1000	m ²	SI
Fábrica carnes	500.00	1	Estab.	2	0	250.00	250	m ²	SI
Fábrica Lácteos	200	1	Estab.	2	0	100.00	100	m ²	SI
Casas	300.00	50	Estab.	2	0	150.00	7500	m ²	SI
Lote de vivienda	1000.00	50	Lotes	1	0	1000.00	-	m ²	NO
Hidráulica	2000.00	1	Estab.	2	0	1000.00	1000	m ²	SI
Caminos	6.00	2050	km	1	0	6.00	12300	m ²	SI
Total							22150	m ²	SI

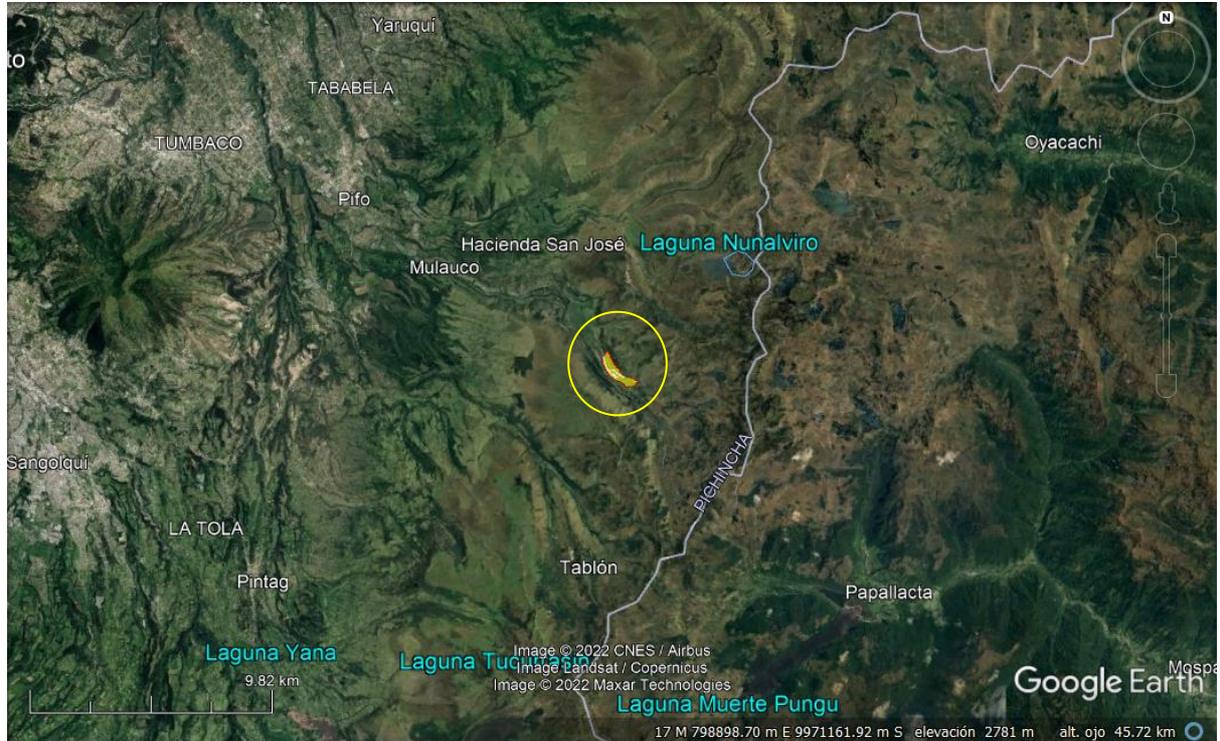


Figura 2: Referencia y ubicación del sitio [Google Earth, 2022].

Los lotes definidos para el proyecto están ubicados a 5 kilómetros en línea recta de la laguna de Nunalvíro, aproximadamente.



Figura 3: Mapa turístico del Parque Nacional Cayambe-Coca [Ministerio de Turismo del Ecuador, 2022].

Como se muestra en la imagen anterior, los lotes del proyecto están fuera de la Reserva y Parque Nacional Cayambe Coca, pero se consideran que pertenecen a una zona de amortiguamiento.

Todo este sector del proyecto tiene un ecosistema de páramo andino y una elevación del terreno que varía entre 3600 y 3800 msnm. El páramo andino se clasifica por su elevación superior a los 3400 msnm, su clima frío todo el año, y por sus suelos de origen volcánico (Chuncho, C. & Chuncho, G. 2019).

Su vegetación consta de pastizales, pajonales, arbustos frondosos y elevados, con bosque en su alrededor, y colinas pobladas de pasto, líquenes, arboles pequeños, hiedras, y musgo.

Debido a su ubicación, un páramo resulta ser un gran receptor de recursos hídricos, por lo que suele presentar formación varias cuencas hídricas, lagunas, ríos o riachuelos de agua dulce, y un suelo constantemente mojado.

Como se menciona anteriormente, el clima es frío con temperaturas que oscilan entre los 6°C y 12°C con casos extremos de 2°C y 14°C, y un promedio de 10°C, dato usado para el diseño en secciones posteriores. Debido a la altura, la llovizna o lluvia de páramo ocurre con frecuencia, y suele ser acompañada por vientos fuertes de 30 km/h de velocidad promedio (MeteoRed, 2022).

La información ambiental y meteorológica permite poder hacer un resumen de las características relevantes del sitio que pueda favorecer o poner en desventaja algún tipo de sistema del abastecimiento de recursos. Para los diagramas de los parametros ambientales, se considera el punto de referencia con:

- Latitud: -0.3001
- Longitud: -78.2266
- Intervalo de tiempo: 2000 – 2021
- Elevación: 3173.59 metros

Todos los datos son recuperados de la ASDC, subdivisión de la NASA para el estudio de las ciencias atmosféricas, del enlace <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.

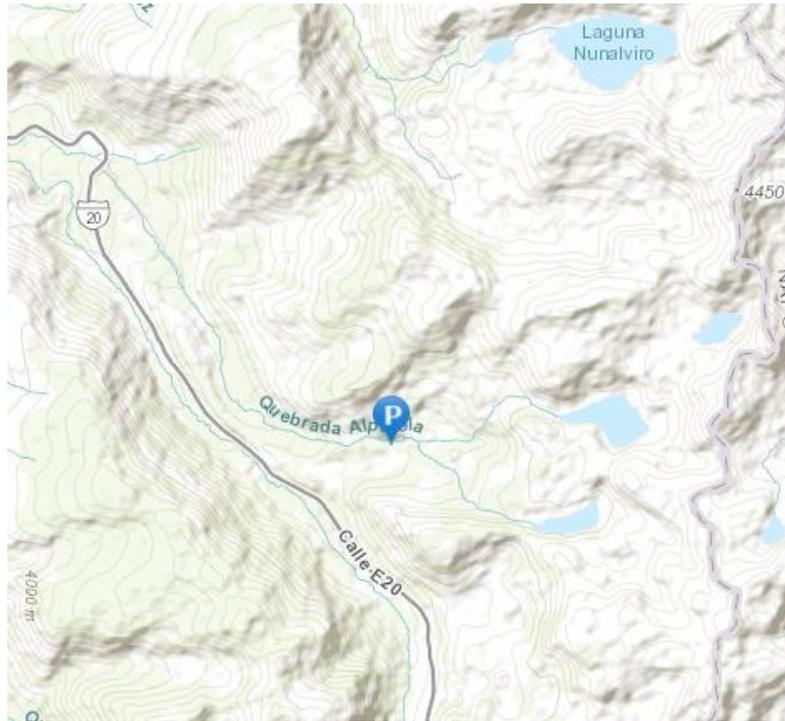


Figura 4: Punto de Referencia para datos atmosféricos [NASA ASCD, 2021].

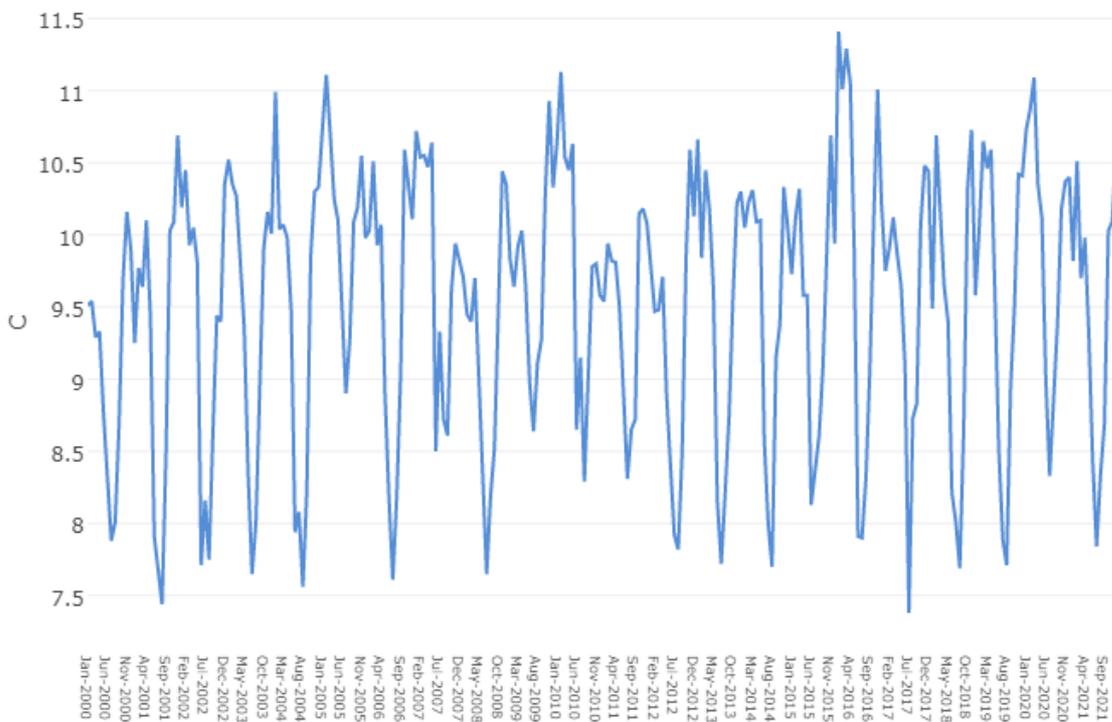


Figura 5: Temperatura a 2 metros de altura [NASA ASCD, 2021].

1.2 Diagnóstico ambiental actual

Como se menciona anteriormente, la zona del proyecto no forma parte de la reserva nacional, pero, al ser una zona de páramo es de alta sensibilidad ambiental, lo que supone un gran impacto en la flora y fauna por parte de las actividades humanas. De acuerdo con la Secretaría de Territorio Hábitat y Vivienda, dichos lotes discutidos en el proyecto pertenecen a una Zona de Amortiguamiento. Dentro del registro del IGM, se especifica el uso de suelo rural y el porcentaje permitido de construcción %COS del 2%.

El concepto de una Zona de Amortiguamiento "...debería ser el de una zona de conservación y desarrollo que asegure el mantenimiento de la calidad ambiental y permita a su vez, mejorar la calidad de vida de sus habitantes." (Blanes J. et al. 2003). Es por esta razón que, en los diferentes terrenos cercanos (en dirección del Distrito Metropolitano de Quito), ya existen zonas de agricultura e infraestructuras civiles menores (casas de campo, fábricas de productos lácteos, zonas turísticas, etc.). Dada esta explicación, la filosofía del proyecto en cuestión cumple y acata este concepto, haciendo del mismo una opción viable, respetando la sensibilidad ambiental del sector, como se menciona anteriormente.

Por otra parte, en el Art. 68 de la Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre se menciona que: "El patrimonio de áreas naturales del Estado deberá conservarse inalterado. A este efecto se formularán planes de ordenamiento de cada una de dichas áreas". "En este caso, esos derechos adquiridos al amparo de la legislación nacional deben respetarse; sin embargo, la imposición de un "gravamen" en estricto derecho, sobre las áreas que están físicamente dentro de un área protegida, le condiciona a enmarcarse en un contexto especial de manejo del área".

Una vez definido todo aquello relevante con la sensibilidad ambiental, y haciendo énfasis en el impacto que tienen y pueden tener el desarrollo y actividad humana, se procede a describir la solución ingenieril para el abastecimiento de recursos básicos por medio de un sistema primario.

CAPÍTULO 2 – DEMANDA HÍDRICA

2.1 Población y crecimiento

Actualmente, la población de la comunidad es solamente de 15 personas. Esto debido a que el establecimiento de la comunidad continua en proceso de planeación. Sin embargo, se espera que en los siguientes 5 o 10 años, una vez ejecutado el plan de desarrollo comunitario, la población sea de 200 personas. Este número de habitantes está definido y justificado en estudios previos, con el objetivo de lograr el desarrollo autosustentable de la comunidad. Con los 200 habitantes se alcanza el equilibrio mencionado anteriormente de los aspectos, ambiental, económico, y social (Proaño M. 2000). De acuerdo con el modelo ambiental socioeconómico, la población tendrá un máximo de 300 habitantes, que una vez excedan este límite tendrán que colonizar otra zona bajo los mismos parámetros sociales, ambientales, y económicos (Proaño M. 2000). Teniendo en cuenta esto, la población máxima para la cual se diseña el abastecimiento de recursos es de 300 habitantes, siendo equivalente a un crecimiento del 50% en el plazo de los años 2030 y 2060.

2.2 Dotación y consumo de agua

El consumo de agua de la comunidad será variable en función del tiempo a medida que crece la población, la producción agrícola, y producción ganadera. Se considera que la producción de alimentos tanto de cultivos como de ganado pueda abastecer a la comunidad y permitir una producción adicional para exportación puertas afuera, y así tener un ingreso extra. Para efectos de cálculo real, se estima el consumo de agua en dos categorías; consumo doméstico, y consumo público o de producción.

El consumo doméstico hace referencia al agua utilizada en los hogares, para cubrir las necesidades de limpieza del hogar, aseo e higiene personal, lavandería, alimentación, y riego de jardines.

Tabla 2: Consumos residenciales típicos [López R. 2003].

Consumos residenciales típicos	
Uso	Consumo (L/hab/día)
Aseo personal	45
Descarga de sanitarios	40
Lavado de ropa	20
Cocina	15
Riego de Jardines	10
Lavado de Pisos	5

La estimación del consumo doméstico puede calcularse mediante la tabla anterior (que resulta en 135 litros por habitante diarios) o mediante estadísticas de consumo. En este caso se usa la estadística del INEC del 2012, para tener un criterio conservador, la cual menciona que el consumo mensual promedio de agua por hogar es de 27.03 m³. Tomando en cuenta que durante el censo del 2012 se registró un promedio de 3.78 habitantes por hogar, el consumo diario de agua por habitante sería de 234.45 litros.

El consumo debe ser mayorado en función del tamaño de la población, el valor de temperatura, y el incremento de consumo. El incremento de consumo obtiene el valor de 7% siendo un intermedio entre el incremento típico para zonas urbanas (8%) y rurales (6%). Por otro lado, los factores de mayoración son 1, tanto para temperatura y población, ya que la temperatura es de 10°C o menos, y la población es de menos de 1000 habitantes (López R. 2003).

Tabla 3: Factores e Incrementos [Proaño J.S. 2022]

FACTORES E INCREMENTOS	
Incremento agua % (%i)	7%
Factor población (k_p)	1
Factor temperatura (k_t)	1

El consumo neto (C.N.) se modifica de la siguiente manera:

$$C.N_{ajustado} = C.N. \times k_p \times k_t$$

$$C.N_{ajustado} = 234.45 \frac{L}{s} \times 1 \times 1$$

$$C.N_{ajustado} = 234.45 \frac{L}{s}$$

Una vez ajustado, se proyecta al futuro con el incremento establecido de 7%:

$$C.N_{futuro} = C.N_{ajustado} \times (1 + \%i)$$

$$C.N_{futuro} = 234.45 \frac{L}{s} \times (1.07)$$

$$C.N_{futuro} = 250.86 \frac{L}{s}$$

El consumo de agua potable doméstica se resume en la siguiente tabla:

Tabla 4: Consumo de agua doméstico [Proaño J.S 2022].

CONSUMO DOMÉSTICO		
Año	Población	Dotación
	Hab	L/hab/día
2030	200	234.45
2060	300	250.86

El consumo público y de producción va a estar dado por la utilización de agua para los servicios de producción de bienes, industrias, salud, administración, educación, recreación, y entretenimiento. Los valores de consumo para estos rubros son específicos y pueden variar dependiendo del enfoque que se le dé a cada uno, pero de manera general se pueden asignar los siguientes valores de consumo:

Tabla 5: Consumos típicos de los sectores comercial e industrial [López R. 2003].

Consumos típicos de los sectores comercial e industrial	
Uso	Consumo (L/día)
Industrias (por persona empleada)	80
Lecherías (por habitante)	0.8
Oficina (por empleado y por 10 m ²)	80
Hospitales por cama	400
Mataderos (por cabeza sacrificada)	300 – 500
Escuelas (>20 alumnos)	80
Riego de parques (por habitante)	9

En base a estos valores de consumo de cada sector, se encuentra la dotación de agua requerida. Se quiere este valor en las mismas unidades, de manera que esté normalizado, en este caso en unidades de litros diarios por habitante. A manera de ejemplo, se explica el consumo de la carnicería:

Suponiendo que un 40% del peso vivo de un miembro de ganado es apto para el consumo (AgroDigital, 2009), para un animal de 500 kg, solo 200 kg serían utilizables. Considerando un promedio de carne consumida al día alrededor 360 gramos por persona, la demanda diaria de carne sería:

$$0.36 \frac{kg}{habitante} \times 300 \text{ habitantes} = 108 \text{ kg diarios}$$

Esto significa que el sacrificio de un animal alcanza casi para 2 días en los que toda la población consume carne. Por lo tanto, la unidad es 0.5 cabezas sacrificadas (c.c.s.s) por día.

Si cada cabeza sacrificada ocupa 500 litros de agua diarios, entonces la dotación se calcula de la siguiente manera:

$$0.5 (c. c. s. s) \times \frac{500 L}{día \times c. c. s. s} \div 300 \text{ habitantes} = 0.83 L/día/hab$$

Se sigue un proceso similar para cada uno de los sectores, y finalmente se obtiene una tabla de resumen de todo el consumo para estas áreas.

Tabla 6: Consumo promedio neto público y de producción [Proaño J.S. 2022].

Consumo Promedio Neto Público y de Producción						
Industria/Sector	# Establecimientos	Unidades/Establecimiento		Consumo de Agua	Unidades	Dotación
	u					L/hab/día
Lechería	1	300	Consumidores	0.8	L/día/cons	0.80
Carnicería	1	0.5	Cabeza sacrificada	500	L/día/cab	0.83
Cultural y Recreativo	1	2000	m ²	8	L/día/m ²	53.33
Escuela	1	50	alumnos	80	L/día/alumno	13.33
Administración	1	50	empleado	3	L/día/empleado	0.50
Clínica médica	1	30	Camas	40	L/día/cama	4.00
TOTAL						72.8

El consumo neto estará dividido entonces en 2 categorías: consumo neto residencial, y consumo neto público y de producción. La suma de ambos valores de consumo va a dar como resultado un subtotal del consumo. De la misma manera que se aplica el incremento al consumo residencial, debe aplicarse al consumo público y de producción. El consumo neto se resume en la siguiente tabla:

Tabla 7: Consumo Neto [Proaño J.S. 2022].

Caudales	Año		Unidades
	2030	2060	
Población	200	300	hab
C.N. Residencial	234	251	L/hab/día
C.N Pub & Prod	72.80	72.85	L/hab/día
C.N Subtotal	307.25	323.71	L/hab/día

Para efectos de diseño, se considera un 5% de pérdidas (%P), siendo conservadores, del caudal por fallas en las tuberías, daños, y otros factores. Por lo tanto, el consumo total (C.T) se calcula de la siguiente manera:

$$C.T. = \frac{C.N_{subtotal}}{1 - \%P}$$

$$C.T. = \frac{307.25 \frac{L}{s}}{1 - 5\%}$$

$$C.T = 340.75 \frac{L}{s}$$

Esto se hace de la misma manera para el consumo del 2060.

Tabla 8: Consumo total [Proaño J.S. 2022].

Caudales	Año		Unidades
	2030	2060	
Población	200	300	hab
C.T	341.39	359.68	L/hab/día

Por otro lado, el agua para riego de cultivos y para el ganado no necesariamente debe ser tratada. Por esta razón, su distribución será diferente y su caudal no es tomado en cuenta para el tratamiento (*no es considerado parte del consumo total anterior*). Este caudal será abastecido por un sistema aparte que transporte agua cruda, y se explica en secciones posteriores. El caudal necesitado para el riego de cultivos es de 0.58 litros por segundo por hectárea, de acuerdo con la investigación de Andrango P. (2019). Mientras que el caudal para el abrevadero del ganado es de 50 litros diarios por cabeza de ganado, según Quevedo W. et al. (2019). Con estos datos se puede obtener un valor del caudal de agua cruda necesitado, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 9: Consumo de agua cruda [Proaño J.S. 2022].

Consumo de Agua cruda						
Sector	Unidades/Establecimiento		Consumo de Agua	Unidades	Caudal [L/día]	Caudal [L/s]
Ganadero	50	Cabeza Equitativa	50	L/día/Ca.Equ	2500	0.29
Agrícola	10	Ha	0.58	L/s/Ha	-	5.80
					TOTAL	5.83

2.3 Demanda Hídrica

Una vez obtenido el consumo total, se puede calcular el caudal. El caudal promedio resulta en la multiplicación con la población y la conversión de unidades respectivas.

$$Q_{Prom.Día} = \frac{C.T. \times POB}{86400} = \frac{340.75 \text{ L/hab/día} \cdot 300 \text{ hab}}{86400} = 1.18 \frac{L}{s}$$

Con este caudal promedio es posible obtener distintos caudales que serán aquellos para los cuales se diseñan las estructuras hidráulicas y sanitarias. Entonces, se determina las demandas pico del consumo total de agua.

$$Q_D = k_i \cdot Q_{Prom.Día}$$

$$k_i = 1.8 \cdot t^{-0.10}$$

Donde la constante k_i representa el tiempo de análisis al que se está refiriendo la pauta de diseño, en días. De manera que, para un día, una semana, y un mes, t es 1, 7, y 30, respectivamente.

- Caudal Máximo Diario de consumo de agua

$$Q = 1.8 \cdot Q_{Prom.Día}$$

- Caudal Máximo Semanal de consumo de agua

$$Q = 1.48 \cdot Q_{Prom.Día}$$

- Caudal Máximo Mensual de consumo de agua

$$Q = 1.28 \cdot Q_{Prom.Día}$$

Para los caudales de consumo horario máximo y mínimo, la ecuación tiene la misma forma, pero los factores son diferentes. Comúnmente los valores para la planificación son 1.5 y 0.25 respectivamente, por lo que entonces:

- Caudal Máximo por Hora de consumo de agua (k_2)

$$Q = 1.5 \cdot Q_{max.Día}$$

- Caudal Mínimo Diario de consumo de agua (k_{min})

$$Q = 0.25 \cdot Q_{Prom.Día}$$

2.4 Caudal de Aguas residuales

Para los caudales de aguas residuales, la ecuación tiene forma similar, pero con sus factores diferentes. En este caso, la constante k_r es obtenida de la relación de cobertura de alcantarillado y agua potable. Al ser una comunidad pequeña, es obligatorio que ambas coberturas sean del 100%, y por ende la constante tiene un valor de 1.

- Caudal de Aguas Residuales (k_r)

$$Q_{res} = 1.0 \cdot Q_{Prom.Día}$$

Para las constantes $k_{r\ min}$ y $k_{r\ max}$, se utiliza la figura siguiente, teniendo en cuenta un trazo imaginario de las líneas punteadas hasta llegar a los 300 habitantes:

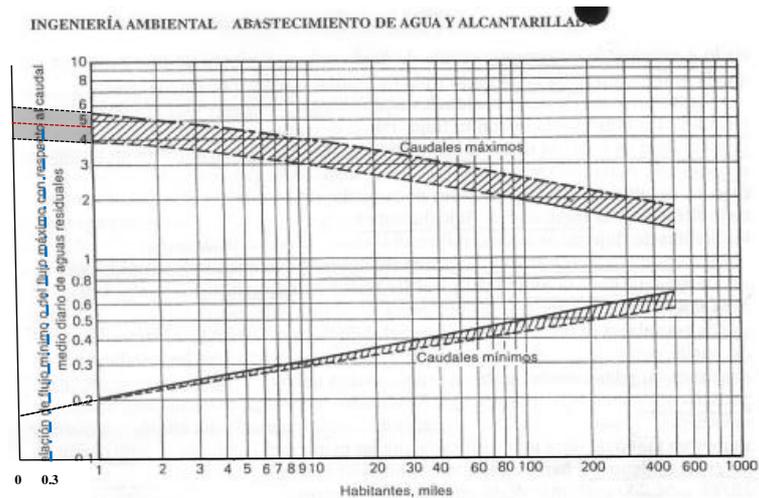


Figura 6: Relación de flujos extremos respecto al caudal medio diario [López R., 2003].

Estos valores son:

Tabla 10: Constantes para caudales residuales [Proaño J.S 2022].

Año	$k_r \max$	$k_r \min$
2030	5.0	0.16
2060	4.9	0.16

- Caudal mínimo de Aguas Residuales ($k_r \min$)

$$Q_{r \min} = 0.16 \cdot Q_{res}$$

- Caudal máximo de Aguas Residuales ($k_r \max$)

$$Q_{r \max} = 4.9 \cdot Q_{res}$$

2.5 Caudal contra incendios

El caudal de demanda contra incendios viene dado por la siguiente ecuación:

$$Q_F = 223 \cdot c \cdot \sqrt{A}$$

Donde 223 es un factor de conversión de unidades, c es un factor de construcción, y A es el área de edificación en metros cuadrados.

El factor de construcción está definido por la siguiente tabla:

Tabla 11: Coeficientes de incendio para materiales de construcción [López R. 2003].

Material	c
Madera	1.5
Construcción común	1
No combustible	0.8
Resistente al fuego	0.6

Dado que la construcción de hogares de la comunidad está pensada ser de bloques, hormigón, mampostería de ladrillo, y madera, se hace un promedio entre los coeficientes respectivos dando como resultado un coeficiente de 1.25.

El área utilizada hace referencia a la edificación más grande de la zona, es decir el centro comunitario. En este caso, podría tener como máximo 2 pisos y un área por piso de 1000 metros cuadrados. Por lo que el cálculo del área sería:

$$A_{neta} = Pisos \cdot A_{piso}$$

$$A_{neta} = 2 \cdot 1000 \text{ m}^2$$

$$A_{neta} = 2000 \text{ m}^2$$

Con esto se calcula el caudal de demanda contra incendios

$$Q_F = 223 \cdot 1.25 \cdot \sqrt{2000 \text{ m}^2}$$

$$Q_F = 12466 \text{ L/min}$$

$$Q_F = 208 \text{ L/s}$$

2.6 Caudal Total

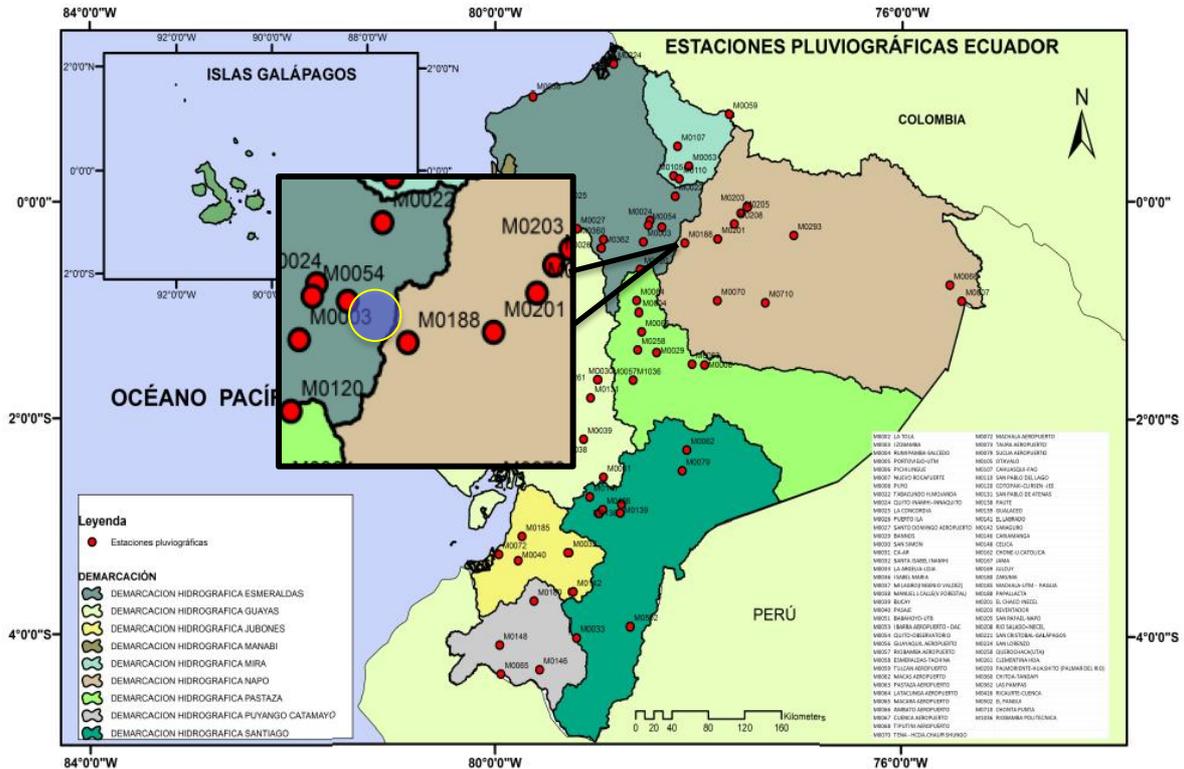
A manera de resumen de los valores de cada tipo de caudal y sus factores correspondiente de acuerdo con los diferentes años, se presenta la siguiente tabla. Los valores por usar para el diseño en secciones siguientes son los correspondientes al año 2060.

Tabla 12: Resumen de Caudal Total [Proaño J.S. 2022]

Resumen de Caudales			
Parámetro	Año		Unidades
	2030	2060	-
Población	200	300	hab
C.N Residencial	234.5	250.9	L/hab/día
ΔPOB %	50.0%		
ΔC.N %	6.5%		
C.N Com & Pub	72.80	72.85	L/hab/día
C.N Sub Total	307.3	323.7	L/hab/día
%Pérdidas	5.0%	5.0%	-
C.T	323.4	340.7	L/hab/día
$Q_{prom\ día}$	0.75	1.18	L/s
k_1	1.8	1.79	-
$Q_{max\ día}$	1.35	2.12	L/s
k_7	1.48	1.47	-
$Q_{max\ sem}$	1.11	1.74	L/s
k_{30}	1.28	1.27	--
$Q_{max\ mes}$	0.96	1.50	L/s
k_2	1.5	1.49	-
$Q_{max\ hora}$	2.02	3.16	L/s
k_{min}	0.25	0.27	-
Q min	0.19	0.32	L/s
k_r	1.00	1.00	-
Q_{res}	0.75	1.18	L/s
$k_{r\ max}$	5	4.9	-
$Q_{max\ res}$	3.74	5.80	L/s
$k_{r\ min}$	0.16	0.165	-
$Q_{min\ res}$	0.12	0.20	L/s

CAPÍTULO 3 - HIDROLOGÍA

3.1 Oferta Hídrica



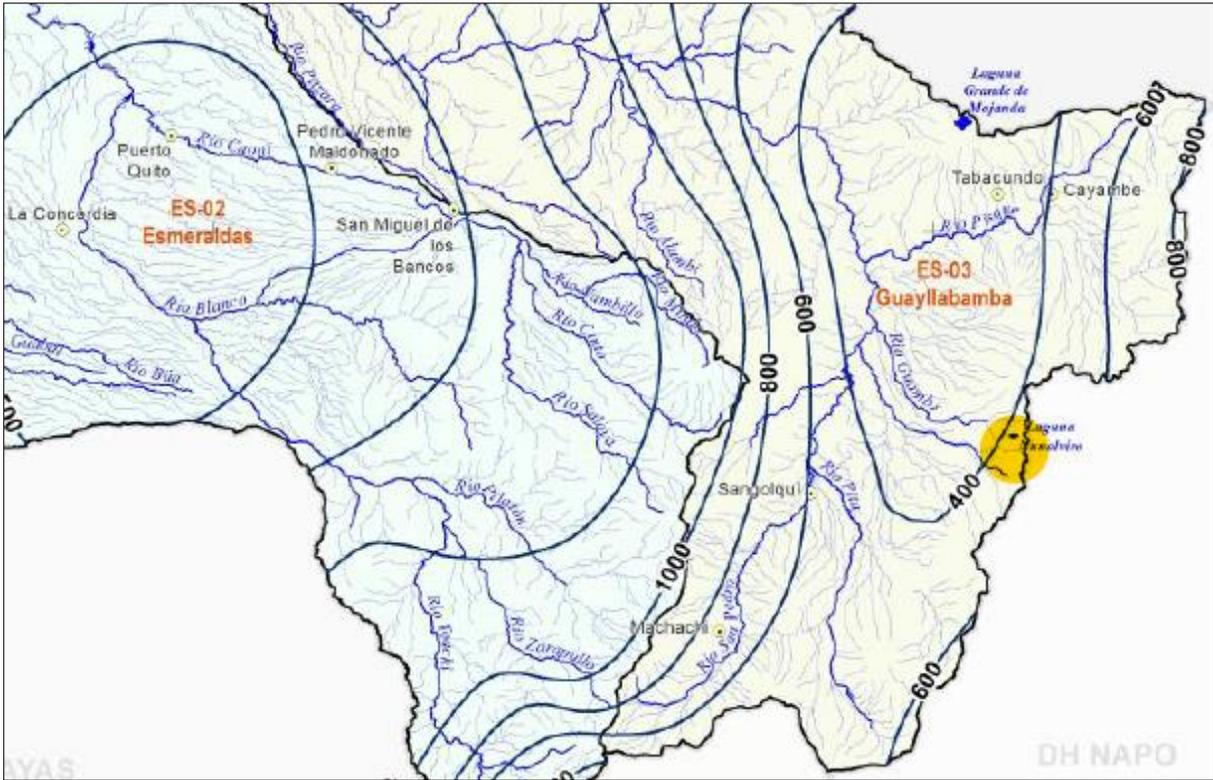


Figura 10: Mapa de Escorrentía Anual [INAMHI, 2015].

La escorrentía anual es de 400mm/año

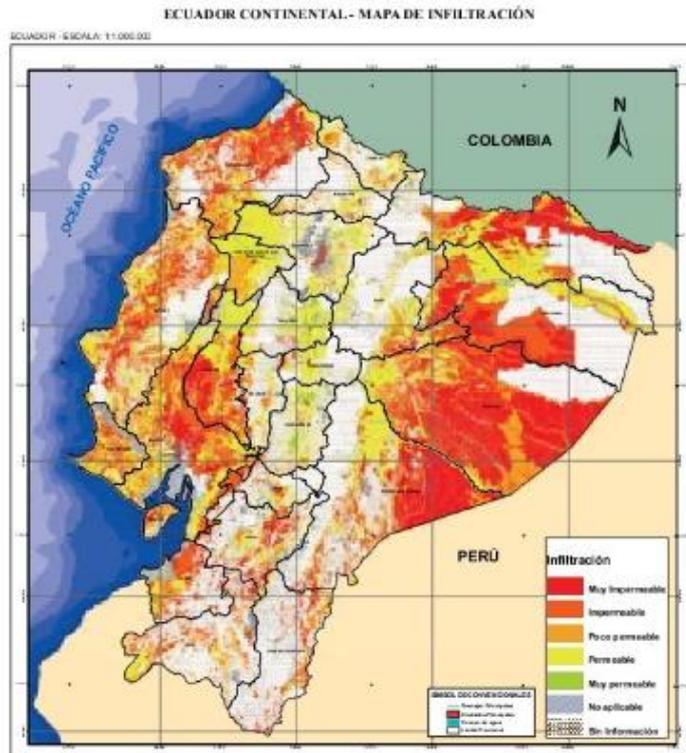


Figura 11: Mapa de infiltración del suelo [IEE, 2007].

De acuerdo con el tipo de suelo y la categoría de infiltración “permeable” perteneciente a la zona del proyecto, se estima una fracción del 5% de la precipitación como infiltración.

3.2 Cuencas hidrográficas

El estudio hidrológico para el proyecto es realizado de manera manual y digital, utilizando el plano de cotas y elevaciones de 1997 provisto por el IGM, y con georreferenciación dada por Google Earth. Ambos métodos sirven para obtener una aproximación inicial de las posibles cuencas que se espera que afecten al terreno, y escurran el agua en el punto de diseño para la infraestructura hidráulica. Para realizar esto, normalmente se busca aquellos puntos elevados que parecen ser divisiones de montañas y unirlos entre sí. El resultado del dibujo de la cuenca en Google Earth es de 13.7 km².



Figura 12: Dibujo en Google Earth de posible cuenca hidrográfica [Google Earth, 2022].

Los lotes caben dentro de un pequeño valle formado por una montaña y por una colina. El punto inicial del análisis está ubicado donde se quiere hacer la captación, aproximadamente en las coordenadas 809451.35 m E, y 9965124.33 m S. La cuenca se extiende kilómetros hacia el sureste debido a la inclinación del sector montañoso.

El método manual es un método gráfico realizado por la suma de áreas de triángulos escalenos, utilizando el método del semiperímetro, que se define por las siguientes fórmulas:

$$s = \frac{a + b + c}{2}$$

$$A = \sqrt{(s - a)(s - b)(s - c)(s)}$$

Al valor del área total en centímetros dentro del plano, se transforma, siendo la escala del plano 1:25. Los triángulos dibujados y calculados se muestran en la siguiente imagen:

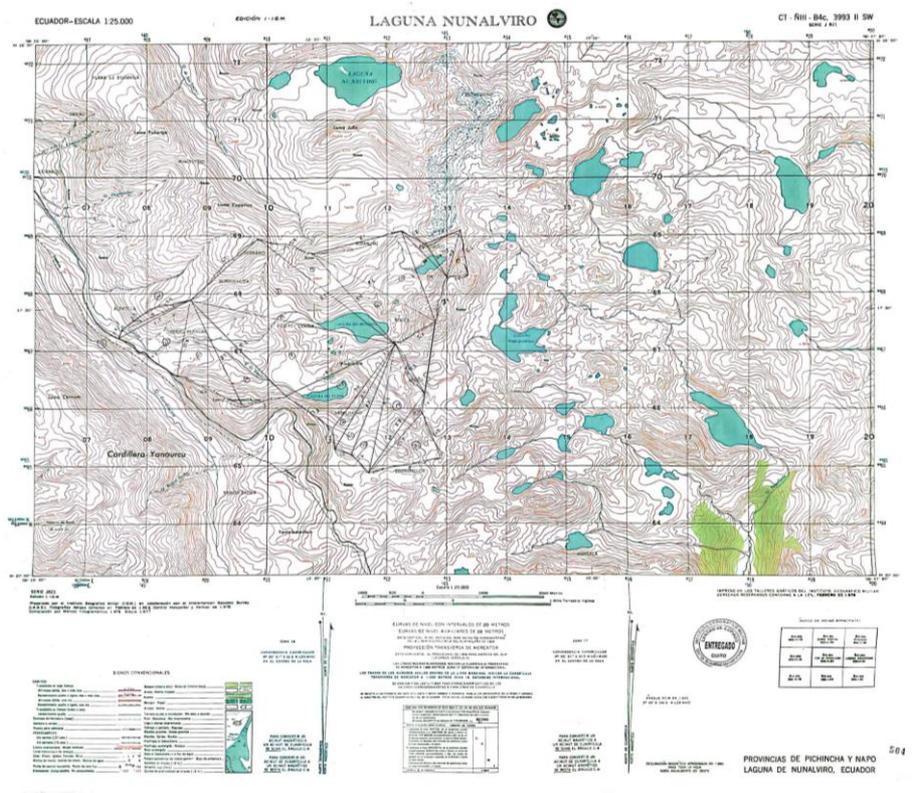


Figura 13: Dibujo de triángulos por método manual gráfico [Proaño J.S. 2022].

Los valores de cada triángulo se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 13: Cálculo de área de cuenca [Proaño J.S. 2022].

Triángulo	a	b	c	s	Área cm plano
1	3.2	1.4	3.3	3.95	2.22
2	3.3	2.5	2.8	4.3	3.41
3	2.8	1.8	4.5	4.55	1.05
4	4.5	3.2	7	7.35	5.52
5	7	6.1	9.6	11.35	21.30
6	9.6	2.3	8.4	10.15	8.76
7	8.4	3.9	11.5	11.9	11.54
8	11.5	6.3	14	15.9	35.72
9	14	8.2	9.2	15.7	36.07
10	9.2	3	8.1	10.15	11.89
11	8.1	4.7	5.8	9.3	13.40
12	5.8	4.8	5.5	8.05	12.25
13	5.5	0.6	5	5.55	0.87
14	5	2.3	2.9	5.1	1.77
15	8.2	3.8	7.1	9.55	13.48
16	7.1	1.5	8.4	8.5	2.89
17	8.4	1.1	8.3	8.9	4.56
18	8.3	1.7	9.2	9.6	6.28
19	9.2	4	6.8	10	12.39
20	6.8	1.5	5.5	6.9	2.28
21	5.5	3.2	5.5	7.1	8.42
22	3.2	4	5	6.1	6.39
TOTAL				cm ²	222.46
				km ²	13.90

Para fines de diseño, se va a considerar el área calculada a mano de 13.9 km².

3.3 Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía puede definirse como la cantidad de precipitación que se convierte en escorrentía, por ende, de manera teórica resulta:

$$c = \frac{Q}{P}$$
$$c = \frac{500}{1500}$$
$$c = 0.33$$

Este valor puede ser asumido como correcto debido al tipo de vegetación, y al suelo existente en el páramo. Comúnmente en páramos, la hidrología “está determinada por eventos de lluvia de baja intensidad, volumen y duración, pero muy frecuentes, por un contenido de humedad del suelo entre capacidad de campo y punto de saturación, por una evapotranspiración relativamente baja, por un caudal muy variable que genera un coeficiente de escorrentía bajo y por una percolación alta típico en zonas con geología porosa” (Torres F., 2018).

Para un cálculo más preciso del coeficiente de escorrentía se toman fotografías del tipo de vegetación más común en la cuenca hidrográfica. Luego, mediante biografía de coberturas de vegetación de páramo, se asignan valores de acuerdo con la investigación y a las visitas de campo realizadas al sector del terreno.

En la siguiente tabla se exhibe la vegetación más común de la zona del proyecto, con su nombre coloquial y una imagen de referencia.

Tabla 14: Tipo de cobertura vegetal del proyecto [Proaño J.S. 2022].

Tipo de Superficie	Referencia	Tipo de Superficie	Referencia
Bosque denso		Pajonales y hierbas altas	
Pastizales y hiedras		Hiedras	
Cultivos		Arbustos y plantas	

Existen distintos métodos para la aproximación de coeficientes de escorrentía. Muchas veces estos están en función de los parámetros de la región a analizar como: la pendiente, el uso del suelo, la textura del suelo, y lógicamente la cobertura vegetal. Con ayuda de las curvas de nivel se obtiene la pendiente en las vegetaciones respectivas que varían desde 1% hasta 45% en toda la cuenca hidrográfica. Con un muestreo del suelo se identifican las propiedades y características subyacentes a la vegetación (suelo franco pedregoso), y con esta información se deducen los coeficientes en función de las siguientes tablas:

Tabla 15: Método de Molchanov para aproximación de coeficientes de escorrentía [Ibáñez, A. et. al, 2015].

Tipo de escorrentía	Pendiente del terreno (en grados)	Densidad y uso de la cubierta vegetal	Tipo de suelo	C %
I	1° - 35°	D > 0,6 Sin pastoreo	Franco-arenoso	5%
II	5° - 35°	0,5 > D > 0,4 Con pastoreo ocasional	Franco-pedregoso	6 - 25%
III	5° - 40°	0,4 ≥ D > 0,1 Con pastoreo permanente	Franco-pedregoso	25 - 50%
IV	5° - 40°	0,4 ≥ D > 0,1 Con pastoreo intensivo	Franco-pedregoso	50 - 75%
V	5° - 40°	0,4 ≥ D > 0,1 Con pastoreo intensivo	Arcilloso	> 75%

Tabla 16: Método de Prevert para aproximación de coeficientes de escorrentía [Ibáñez, A. et. al, 2015].

Uso del suelo	Pendiente (%)	Textura del suelo (%)		
		Arenos-limoso Limoso-arenoso	Limoso Limoso-arcilloso	Arcilloso
Bosque	0 - 5	0,10	0,30	0,40
	5 - 10	0,25	0,35	0,50
	10 - 30	0,30	0,40	0,60
	> 30	0,32	0,42	0,63
Pastizal	0,15	0,15	0,35	0,45
	5 - 10	0,30	0,40	0,55
	10 - 30	0,35	0,45	0,65
	>30	0,37	0,47	0,68
Cultivo agrícola	0 - 5	0,30	0,50	0,60
	5 - 10	0,40	0,66	0,70
	10 - 30	0,50	0,70	0,80
	> 30	0,53	0,74	0,84

Habiendo hecho la visita al terreno y observado la cobertura vegetal, se cuantifican áreas aproximadas con la vegetación respectiva, y se obtienen porcentajes del tipo de vegetación que existe en este páramo. Con estos valores se extrapola al área calculada previamente y se obtiene una aproximación del coeficiente de escorrentía promedio para este tipo de páramo. Con esta información, una ponderación adecuada sería la siguiente:

$$c = \frac{c_1 \cdot A_1 + c_2 \cdot A_2 + c_3 \cdot A_3 + \dots + c_n \cdot A_n}{A_{tot}}$$

Tabla 17: Coeficientes de escorrentía [Proaño J.S. 2022].

Tipo de Superficie	Pendientes	Tipo de suelo	C	Porcentaje área	Área Cuenca Real [km2]	AL*C
Bosque y arbustos	1-15%	Franco Pedregoso	0.2	20%	2.78	0.556
Cultivos	10-30%	Franco Pedregoso	0.65	1%	0.09	0.060
Pajonales, césped, hiedras, y plantas	10-45%	Franco Pedregoso	0.37	79%	10.98	4.064
Total				100%	13.90	0.34

El coeficiente de escorrentía ponderado toma el valor de 0.34, es decir que el 34% de la precipitación se convierte en escorrentía. Este valor es muy similar al dato teórico de 33%.

3.4 Balance Hídrico:

Una vez obtenida la intensidad, el área de la cuenca, y el coeficiente promedio, se determina por el Método Racional la Escorrentía Media Multianual en unidades de milímetros al año.

$$Q = c \cdot A \cdot i$$

$$Q = 0.34 \cdot 13.90 \text{ km}^2 \cdot 1500 \frac{\text{mm}}{\text{año}}$$

$$Q = 7\,020\,095 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}$$

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

$$h = 505 \frac{\text{mm}}{\text{año}}$$

Este valor es muy cercano al valor de 500 milímetros al año, obtenido de las isoyetas anteriores.

Mediante la Ecuación de Balance Hídrico se determina ΔS , el Cambio de Almacenamiento Anual (exceso o déficit de agua) para el sector. Para sectores de páramo se puede encontrar el coeficiente de infiltración variante entre 5 y 8% de la precipitación. Para este caso se utiliza el 5% mencionado anteriormente. Por lo tanto, la ecuación del balance hídrico queda de la siguiente manera:

Tabla 18: Balance hídrico [Proaño J.S. 2022].

Precipitación	1500	mm
Evapotranspiración	900	mm
Escorrentía	505	mm
Infiltración	75	mm
Exceso Hídrico	20.1	mm

$$\Delta S = P - E - Q - I$$

$$\Delta S = 1500 - 900 - 505 - 75$$

$$\Delta S = 20.1 \text{ mm/año}$$

El sector está en un exceso hídrico según el cálculo realizado, con un valor muy cercano al balance. Este exceso hídrico es almacenado naturalmente en humedales.

El consumo de toda la población se obtiene multiplicando el consumo neto por habitante, por el número total de habitantes. Es importante que el valor de la escorrentía se presente en las mismas unidades del consumo.

$$\text{Consumo} = C.N.Ajustado \times \text{habitantes}$$

$$\text{Consumo} = 359.7 \text{ L/hab/día} \times 300 \text{ hab}$$

$$\text{Consumo} = 107\,904 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

$$\text{Escorrentía} = 7\,020\,095 \frac{\text{m}^3}{\text{año}} \times \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}}$$

$$\text{Escorrentía} = 19\,233\,136 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

Consecuentemente, la oferta hídrica media multianual se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Oferta} = \text{Escorrentía} - \text{Consumo}$$

$$\text{Oferta} = 19\,233\,136 - 107\,904$$

$$\text{Oferta} = 19\,125\,232 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

Convirtiendo la oferta a las unidades correspondientes se obtiene:

Tabla 19: Oferta Hídrica promedio, anual, y mensual [Proaño J.S. 2022].

Oferta	19 125 232	L/día
Oferta Hídrica Promedio	0.22	m ³ /s
Q_{anual}	6 980 710	m ³ /año
Q_{mensual}	581 726	m ³ /mes
Q_{50%}	221.36	L/s

3.5 Rendimiento de agua mensual

El rendimiento de agua se puede definir como la utilidad del volumen de agua con relación al kilómetro cuadrado de uso. Esto está dado por:

$$R = \frac{V}{A}$$

Donde V es el volumen de agua en un año, y A el área del sector.

$$R = \frac{7\,020\,095 \text{ m}^3}{13.9 \text{ km}^2}$$

$$R = 504\,904 \frac{\text{m}^3}{\text{km}^2}$$

Convirtiendo las unidades de año, a meses, y a días se obtiene el rendimiento respectivo:

Tabla 20: Rendimiento de agua [Proaño J.S. 2022].

Rendimiento anual	504904	m ³ /km ²
Rendimiento mensual	42075	m ³ /km ²
Rendimiento diario	1383	m ³ /km ²

3.6 Fuentes Hídricas

El sector cuenta con pequeños riachuelos provenientes de quebradas, las cuales vienen de lagos o lagunas como la Laguna de Yuyos o la Laguna de Nunalviro, localizadas en sectores más altos de aproximadamente 4200 msnm. Asimismo, debido al tipo de ecosistema presente, el sector seguramente debe contener fuentes de agua subterránea. Sin embargo, el estudio para encontrar dichas fuentes es largo, costoso y poco eficiente, por lo que únicamente se abastece con fuentes superficiales.

Debido al bajo consumo de la comunidad se espera utilizar solo una fuente hídrica. Por tal razón se selecciona el río de la Quebrada Alpatola, que a simple vista parece el afluente más grande. Dicha fuente debe cumplir con el caudal suficiente para potabilización y riego por lo que se hace un estudio de volumetría, en este caso por la compañía ANAVANLAB, en el Anexo B.

El caudal promedio según el estudio es de 394 L/s en el riachuelo. Debido al corto tiempo de realización, no es posible evaluar el arroyo en un término temporal relevante. Por lo que se debe extrapolar este caudal de acuerdo con el patrón estacional de la región, o con el método directo. Sin embargo, para un estudio más detallado, en este sector en específico se debería hacer un análisis propio de microclima durante varios años para obtener un patrón estacional

adecuado, limitado a la cuenca mostrada anteriormente, o un aforo de ríos durante un año para obtener los valores reales del caudal.

Por ende, bajo las limitaciones actuales y en base al anuario hidrológico 2013 para las estaciones meteorológicas de Izobamba y Papallacta se recupera la siguiente información sobre los patrones de precipitación:

Tabla 21: Precipitaciones mensuales para estación de Izobamba [INAMHI, 2013].

M0003 IZOBAMBA INAMHI																			
MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)						HUMEDAD RELATIVA (%)			PUNTO DE ROCIO (°C)	TENSION DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACION(mm)			Número de días con precipitación			
		ABSOLUTAS		M E D I A S		Mensual	Máxima	Minima	Media	Mensual			Máxima en 24hrs	Máxima en día					
ENERO	189.5	22.9	29	3.4	15						19.8	6.2			13.2	100	13	40	20
FEBRERO	80.6			4.8	1	17.8	7.3	11.8	100	14	57	16	87	9.5	11.9	230.5	33.4	11	24
MARZO	122.9	20.8	8	4.8	6	19.0	6.9	12.7	100	3	57	9	83	9.8	12.2	128.1	20.6	22	20
ABRIL	128.9	21.2	12	2.5	26	19.2	6.2	12.5	100	28	37	25	82	9.2	11.7	101.9	15.3	19	19
MAYO	114.2	20.0	4	4.2	18	18.2	6.5	12.1	100	14	54	25	88	9.9	12.3	239.0	36.6	2	31
JUNIO	183.7	23.0	22	3.1	29	19.7	5.7	12.7	96	1	43	22	75	7.9	10.7	9.8	7.2	1	4
JULIO	206.0	21.6	1	2.5	19	19.8	5.7	12.4	100	1	40	28	70	6.6	9.8	8.3	4.0	4	4
AGOSTO	187.1	22.4	30	2.6	23	19.7	5.3	12.3	98	11	35	5	72	6.9	10.0	43.5	11.3	24	10
SEPTIEMBRE	151.6			2.6	3	19.7	6.2	12.7	98	30	27	21	71	7.0	10.1	38.9	10.8	3	12
OCTUBRE	147.3	21.8	8	3.3	1	19.1	6.6	12.3	99	15	38	7	80	8.6	11.3	191.5	40.0	23	23
NOVIEMBRE	142.2	22.0	17	1.7	3	18.7	6.0	11.9	99	4	47	10	83	8.7	11.3	45.9	10.4	14	11
DICIEMBRE	158.5	21.2	12	2.2	2	18.9	6.0	12.3	99	3	48	29	83	9.1	11.6	79.6	21.6	9	10
VALOR ANUAL	1812.5			1.7		19.1	6.2	12.4	100		27		79	8.5	11.2	1160.7	40.0		

Tabla 22: Precipitaciones mensuales para estación de Papallacta [INAMHI, 2013].

M0188 PAPALLACTA INAMHI																			
MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)						HUMEDAD RELATIVA (%)			PUNTO DE ROCIO (°C)	TENSION DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACION(mm)			Número de días con precipitación			
		ABSOLUTAS		M E D I A S		Mensual	Máxima	Minima	Media	Mensual			Máxima en 24hrs	Máxima en día					
ENERO	83.5										17.1	2.9			10.4				
FEBRERO	32.4					17.1	2.3	9.8					94	8.8	11.4	173.4	19.7	4	26
MARZO	49.6						3.0	10.6					94	9.6	12.1	80.5	12.1	26	22
ABRIL	76.3					18.6	2.4	10.5					95	9.7	12.2	79.2	14.2	19	17
MAYO	73.6			0.1	15	18.1	1.7	10.5	100	22	86	14	95	9.7	12.2	141.6	19.6	30	27
JUNIO	65.1	22.4	7	0.1	28	19.1	1.8	10.2	100	5	81	7	94	9.3	11.8	136.9	21.6	8	24
JULIO	70.0	19.4	3	1.2	15	18.8	2.3	9.2					95	8.4	11.1	214.8	32.8	7	23
AGOSTO	96.2	19.8	5			19.1	1.6	9.7	100	4	88	5	96	9.1	11.7	117.0	13.7	15	23
SEPTIEMBRE	38.9	19.4	11	1.0	5	18.6	1.7	10.2					94	9.2	11.8	123.1	32.1	1	20
OCTUBRE		19.7	31			18.3	3.0	10.7					93	9.7	12.1	75.9			
NOVIEMBRE																			
DICIEMBRE																			
VALOR ANUAL																			

Viendo que la estación de Izobamba no es tan representativa, y el sector es más parecido a Papallacta, se considera la precipitación ponderada como un 80% de la precipitación de Papallacta y un 20% de la precipitación de Izobamba. Además, es importante notar que los

valores de octubre, noviembre, y diciembre tienen un error, por lo que son corregidos para que la precipitación sea la correcta.

Partiendo de estos datos, se resume la precipitación de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 23: Precipitaciones mensuales de estaciones Papallacta e Izobamba [Proaño J.S. 2022].

Meses	Precipitación [mm]			Precipitación [mm/hr]
	Papallacta	Izobamba	Promedio	
Enero	68.4	43.7	63.5	0.0867
Febrero	173.4	230.5	184.8	0.2525
Marzo	80.5	128.1	90.0	0.1230
Abril	79.2	101.9	83.7	0.1144
Mayo	141.6	239	161.1	0.2201
Junio	136.9	9.8	111.5	0.1523
Julio	214.8	8.3	173.5	0.2370
Agosto	117.0	43.5	102.3	0.1398
Septiembre	123.1	38.9	106.3	0.1452
Octubre	105.9	191.5	123.0	0.1681
Noviembre	140.0	45.9	121.2	0.1655
Diciembre	150.0	79.6	135.9	0.1857

Graficando los datos de la tabla se obtiene:

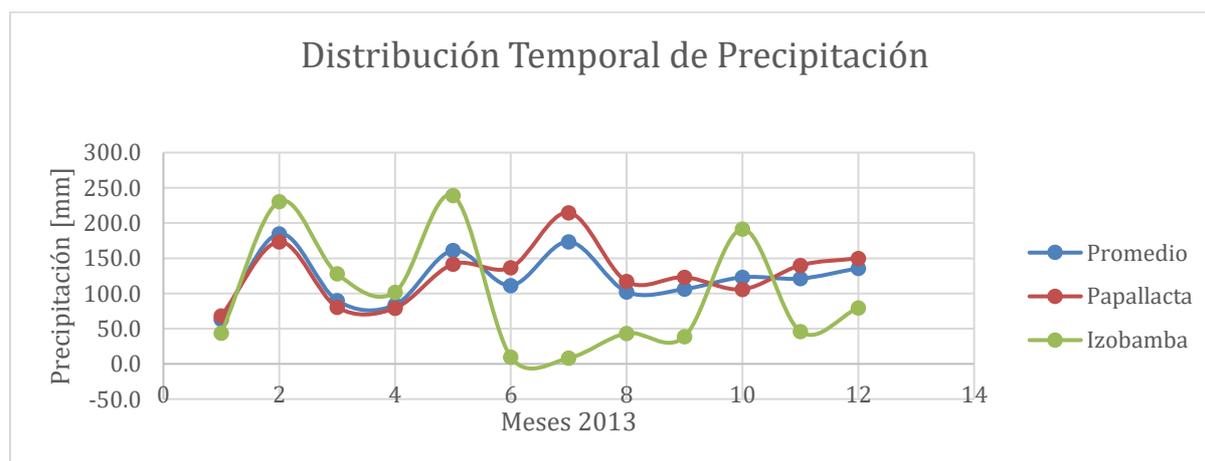


Figura 14: Distribución temporal de precipitación [Proaño J.S. 2022].

Con esta información es posible extrapolar el patrón estacional al aumento y disminución de nivel del arroyo. Se realiza esto de dos maneras:

- Con una extrapolación (EP), es decir normalizando respecto al caudal y precipitación del mes contemporáneo al aforo del río
- O mediante el método directo (MD).

Tabla 24: Caudales de la Quebrada Alpatola [Proaño J.S. 2022].

Meses	Precipitación [mm/hr]	Caudales [L/s]	
		Q (EP)	Q (MD)
Enero	0.087	235.5	109.5
Febrero	0.252	685.7	318.8
Marzo	0.123	334.0	155.3
Abril	0.114	310.7	144.4
Mayo	0.220	597.6	277.9
Junio	0.152	413.6	192.3
Julio	0.237	643.7	299.3
Agosto	0.140	379.6	176.5
Septiembre	0.145	394.3	183.3
Octubre	0.168	456.4	212.2
Noviembre	0.166	449.6	209.0
Diciembre	0.186	504.3	234.5

Ambos métodos son correctos, pero se considera el método directo el utilizado para el diseño, teniendo un criterio conservador. Encontrando un estimado del caudal que existe el 95% del año, se verifica que el río sea apto.

Tabla 25: Caudal del río y distribución temporal [Proaño J.S. 2022].

Q [L/s]	%
328.24	0.08
308.13	0.17
286.07	0.25
241.39	0.33
218.48	0.42
215.21	0.50
197.99	0.58
188.72	0.67
181.68	0.75
159.87	0.83
148.72	0.92
112.70	1.00

Se puede notar que el caudal el 50% del año según el método directo es de 215 L/s, el cual es bastante cercano al valor de la oferta hídrica al 50%, de 213 L/s. Ambos son el mismo dato, y sus valores deberían ser prácticamente iguales.

Mediante una curva de duración es se puede analizar gráficamente el caudal del río y compararlo con el caudal al 95% del año, en función del porcentaje del año.

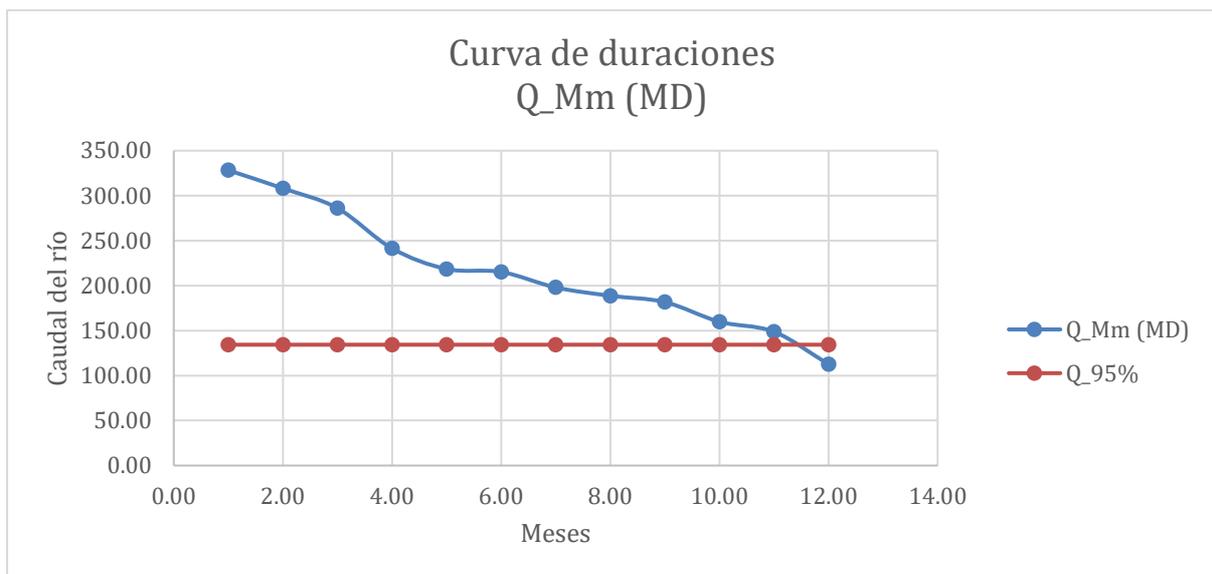


Figura 15: Curva de duraciones de Quebrada Alpatola [Proaño J.S. 2022].

El caudal al 95% se encuentra entre 144.35 y 109.47 L/s, (130.45 L/s exactamente).

Entonces, considerando el abastecimiento mediante gravedad, debido a la pendiente del terreno, el caudal de la Quebrada Alpatola será suficiente cuando el caudal al 95% es mayor o igual al doble del consumo promedio diario.

$$Q_{95\%} = 130.47 \frac{L}{s}$$

$$Q_{95\%} \geq 2 \cdot 5.41 \frac{L}{s}$$

$$130.47 \frac{L}{s} \geq 10.82 \frac{L}{s} \therefore OK$$

El río siempre tendrá más agua de la necesaria para esta comunidad de 300 personas.

3.7 Calidad del agua

La calidad del agua del río es obtenida por un estudio químico, físico y biológico de las fuentes hecho por ANAVANLAB, en el Anexo C. En base al estudio se realiza un diseño específico de los procesos de tratamiento de agua potable y aguas residuales. Los procesos de remoción de partículas se explican en la sección de **Estación de tratamiento.**

3.8 Permeabilidad del suelo

El estudio de permeabilidad del suelo fue realizado por el autor en una salida de campo siguiendo la normativa estadounidense EPA FALLING HEAD PERCOLATION TEST PROCEDURE.



Figura 16: Ensayo de permeabilidad in-situ [Proaño J.S. 2022].

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 26: Resultados de ensayo de permeabilidad [Proaño J.S. 2022].

Parámetro	Valor	Unidades
Estado del suelo	Poco húmedo	-
Altura de agujero	50.0	cm
Diámetro de tubería	11.0	cm
Área de tubería	95.0	cm ²
Altura promedio	23.3	cm
Tiempo promedio	1800.0	seg
Volumen	2217.4	cm ³
Permeabilidad	0.0278	cm/s

CAPÍTULO 4 - PROPUESTA

A partir de los criterios anteriores, se propone la construcción de un sistema complejo para el abastecimiento del agua potable y saneamiento con capacidad suficiente para una población de 300 personas. Se espera que los criterios y concepto de sustentabilidad y sostenibilidad se respeten para que así la infraestructura pueda tener una vida útil de 100 años (teniendo en cuenta que no hay un crecimiento poblacional), con sus respectivas reparaciones y mantenimiento. El proyecto consiste en el diseño de varios elementos y sistemas para lograr el objetivo general de suministrar agua potable y alcantarillado a la población de la comunidad.

El esquema referencial de todo el proyecto se presenta en la siguiente imagen:

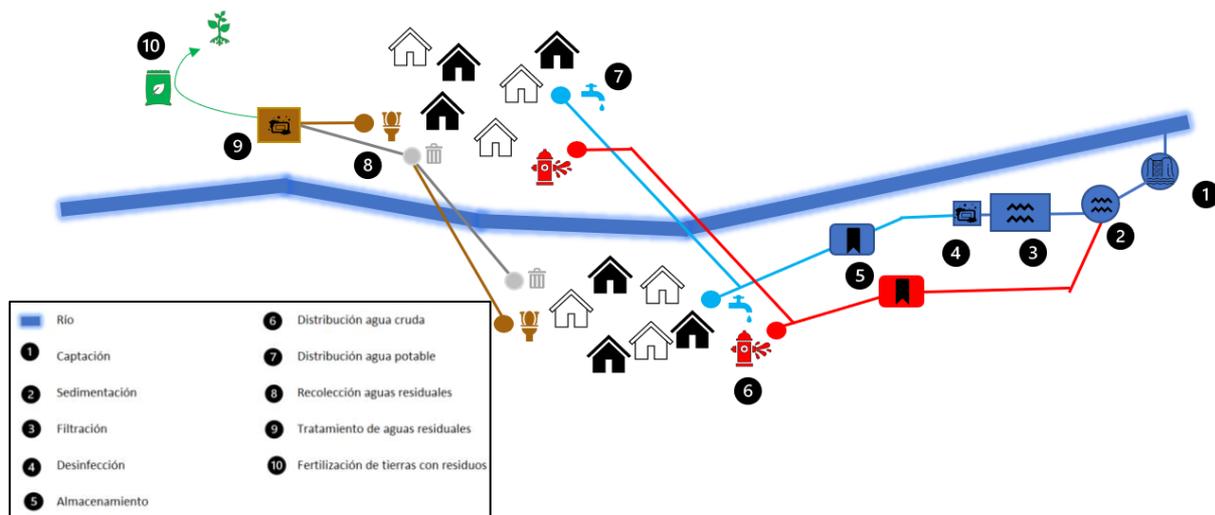


Figura 17: Esquema referencial de provisión de servicios [Proaño J.S. 2022].

4.1 Abastecimiento de agua potable

Se propone el diseño y construcción de una derivación del río para el uso de su recurso y obtener agua potable. Para esto se definen los siguientes términos e infraestructuras:

- **Muro transversal:** Muro de hormigón armado fundido en sitio perpendicular al flujo del agua. Su función es elevar el nivel del agua para que esta pueda ser captada.
- **Orificio:** sistema hidráulico colocado en el muro lateral de la captación de agua potable.
- **Canal de aducción:** es el canal abierto de transporte del agua cruda desde la obra de captación hasta la planta de tratamiento. Dependiendo de la facilidad de construcción puede construirse un canal cerrado con una tubería prefabricada. El canal abierto considera un periodo de diseño de 25 años, mientras que si es un canal cerrado el periodo de diseño es de 45 años.
- **Aliviaderos:** canales abiertos de redirección del agua en exceso de vuelta al río.
- **Rejillas:** pieza metálica cuyos elementos unidos forman espacios por el cual se filtra el agua, pero no los elementos como ramas, hojas, escombros, basuras, etc. Su periodo de diseño estará definido por su material, tamaño, y propio deterioro.
- **Mallas y tamices:** tela de alambre, cuyos espacios bloquean el paso de sólidos y material flotante pequeño. Su periodo de diseño estará definido por su material, tamaño, y propio deterioro.
- **Cisterna:** Almacena agua para emergencias, y tiempos muertos por mantenimiento. Su periodo de diseño es de 10 años, tiempo al cual debe hacerse una evaluación estructural y técnica del correcto funcionamiento.
- **Planta de potabilización:** Sistema mecánico de varios procesos para la depuración, remoción y potabilización del agua cruda, convirtiéndola en agua apta para el consumo. Su periodo de diseño es de 15 años, tiempo al que se debe hacer una revisión de la capacidad y suficiencia de los sistemas y equipos.

- **Estación de bombeo:** Bombea el agua tratada por el sistema de distribución para que llegue al usuario. El periodo de diseño considerado es de 10 años, tiempo al cual debe hacerse una evaluación del correcto funcionamiento de las bombas.
- **Sistema de distribución:** Un sistema de tuberías para la conducción del agua a cada usuario. El sistema trabaja por medio de presurización (ya sea bombeo o por gravedad) y va desde la estación de bombeo por debajo de las calles hasta cada usuario. El sistema está conformado por ramales primarios y secundarios, cuyo periodo de diseño es de 45 años, tiempo en el cual debe hacerse una revisión completa del sistema.

4.2 Abastecimiento de agua cruda

Se propone un sistema complementario para el transporte de agua cruda cuyo objetivo será abastecer al sector agrícola y ganadero, y también ser parte del sistema contra incendios. Sus estructuras son las siguientes:

- **Orificio:** sistema hidráulico colocado en el muro lateral de la captación anterior, que obtiene el caudal promedio de uso agrícola y ganadero. Se incorpora en la misma captación de agua para potabilización.
- **Tratamiento:** El único tratamiento que recibe este caudal es el del desarenador para evitar obstrucciones en tuberías. El objetivo de separar el agua cruda del agua potable es reducir la cantidad de agua a ser tratada, debido a que el caudal de incendios es muy grande. De esta manera se reduce la cantidad de infraestructura necesitada para la planta de potabilización, y el costo de operación es menor.
- **Canal de conducción:** Un sistema de tuberías para la conducción de agua cruda desde el desarenador por debajo de las calles hasta la zona agrícola y ganadera.

Durante su recorrido está conectado a los hidrantes en las calles. Su periodo de diseño es de 45 años.

- **Tanque regulador:** Un tanque elevado que permite regular la presión del sistema de agua, de manera que asegura la presión suficiente en los hidrantes en caso de un incendio. Su periodo de diseño es de 10 años, tiempo al cual se hace una evaluación estructural del sistema.

4.3 Sistema de alcantarillado

El alcantarillado es un sistema de recolección de aguas residuales, principalmente de desechos y contaminantes humanos urbanos. Los desechos pueden encontrarse tanto en sólidos como líquidos y pueden tener varios orígenes. En ingeniería civil se clasifican las aguas residuales en dos categorías: aguas grises y aguas negras. Las aguas grises hacen referencia a toda agua que proviene del uso doméstico, como lavado de ropa, utensilios, y aseo. Se espera que contengan residuos de jabones, aceites, productos industriales, desinfectantes, etc. Por otro lado, las aguas negras son aquellas que provienen de los desechos humanos, ya sean estos desechos cloacales e inodoros, residuos de comida, o basura orgánica. Estos residuos denotan la presencia de patógenos y bacterias, comúnmente proveniente de heces, orina, y papel higiénico.

La consideración ambiental que se debe tener presente cuando se habla del alcantarillado, va a depender del impacto que se quiera tener dentro del ecosistema. En repetidas ocasiones el sistema de alcantarillado recolecta las aguas residuales y mediante unos pocos procesos de saneamiento y depuración la vuelve apta o aceptable para volver al río. Sin embargo, el agua no es apta para el consumo humano.

En base a la explicación anterior, se propone un solo tratamiento de aguas residuales (para aguas negras y grises en conjunto), conformado por un pretratamiento, un tratamiento principal, y un tratamiento secundario. Debido a las condiciones que soportan las estructuras y sistemas, el periodo de diseño para cada uno de sus componentes es de 15 años a 20 años, tiempo al cual deben hacerse revisiones, chequeos, y limpiezas totales. Cabe recalcar que el alcantarillado pluvial no es parte de este proyecto y por ende no es diseñado.

- **Planta de tratamiento de aguas grises y negras:** realiza la limpieza del agua usada con residuos fecales, orgánicos, de comida, basuras, y cualquier otro residuo doméstico, con el objetivo de que dicha agua pueda ser devuelta de forma segura al medio ambiente. Se plantean algunas opciones de procesos de tratamiento principales para la reducción de elementos grandes, la remoción de sólidos suspendidos, grasas, DQO (demanda química de oxígeno) y DBO (demanda bioquímica de oxígeno), materia orgánica biodegradable. De igual manera realiza la limpieza del agua usada con residuos químicos, desinfectantes, agentes de limpieza, aceites, y líquidos industriales, con el objetivo de que dicha agua pueda ser devuelta de forma segura al medio ambiente.
- **Pretratamiento:** una rejilla de barra de limpieza manual cuyo objetivo es eliminar los sólidos de gran tamaño, como plásticos, cabello, rocas, arena, y tal vez grasas. Requiere un mantenimiento constante.
- **Triturador:** sistema de pretratamiento electromecánico que reduce el tamaño de las partículas pasantes, para que su tratamiento posterior sea más sencillo. Consta de una cuchilla rotatoria y un tamiz.
- **Trampa de grasa:** un espacio de agua de tamaño considerable cubierto en su superficie con maleza acuática. Esta cobertura de plantas (*Eichhornia crassipes*)

funciona como filtro y trampa de grasas (natas y sólidos flotantes), dejando el paso a solo partículas de tamaño intermedio. Dichas plantas son removidas y utilizadas posteriormente como material orgánico de fertilización.

- **Desarenador:** tratamiento primario con un tanque de sedimentación de partículas por gravedad. Los lodos acumulados en el fondo deben ser desechados como basura, o utilizados como material fertilizante al mezclarse con turba, viruta, o tierra con lombrices para generar composta.
- **Zanjas de infiltración:** tratamiento secundario para materia orgánica. Consiste en una zona de infiltración o pozo séptico para aguas residuales tratadas, según indique el mejor criterio.
- **Compostaje:** proceso de aprovechamiento de orina y residuos fecales para generar composta. Se recomienda utilizar el compostaje como fertilizante de árboles maderables, y plantas que no se consuman frescas.
- **Prácticas ambientales:** es el hábito generado por los habitantes de una ciudad a realizar actividades en consideración con el medio ambiente y su cuidado, para así garantizar el menor impacto posible al ecosistema. Dentro de las prácticas ambientales se recomienda la separación y clasificación de basura en: papel, plástico, orgánicos, contaminantes químicos, etc. Así como el uso de productos de limpieza y aseo biodegradables. Adicionalmente se recomienda la concientización de un uso responsable de agua y energía, para que así el proyecto resulte en una opción más viable.
- **Plan de acción comunitario:** organización de procesos y cronograma, para llevar a cabo el mantenimiento de los sistemas de agua potable y aguas residuales por parte de los miembros de la comunidad.

CAPÍTULO 5 - DISEÑOS

En esta sección se presenta el diseño, cálculos, dimensionamiento, y capacidad de la infraestructura y obras a realizarse, basándose en todo el análisis anterior. Se consideran los caudales según el periodo de diseño y la necesidad hídrica mencionada.

5.1 Obra de Captación Superficial

En la siguiente tabla se presentan los caudales de diseño con su mayoración para la obra de captación.

Tabla 27: Parámetros para obra de captación [Proaño J.S. 2022].

		Consumo doméstico	Consumo agrario y ganadero
%Pérdidas	Aducción	3%	3%
	En planta	5%	-
Caudales [L/s]	Q_{prom}	1.18	5.83
	$Q_{prom AJ}$	1.28	6.00
	$Q_{maxdiaAJ}$	2.29	10.75

Durante el cálculo de caudales en el **Capítulo 3** se mayoraron los valores teniendo en cuenta ciertos factores que dependen de la designación de dicho caudal. Ahora, es necesario hacer otra mayoración específica para la captación que considera las pérdidas de agua a lo largo de la aducción (3%) y caudales necesarios para el mantenimiento de la planta de tratamiento (5%), con un coeficiente de mayoración de 1.79 para el año 2060. Para la obra de captación se considera también el caudal de agua cruda, que no será tratada. Es lógico entonces que no se le asigne un porcentaje para su limpieza.

Como obra de captación se diseña una derivación del río. Dicha infraestructura consta de un muro para elevar el nivel del agua, y un orificio circular que permite la captación del caudal

promedio diario, tanto de consumo doméstico como de consumo agrario y ganadero. Debido al bajo consumo no es necesario diseñar algún otro dispositivo hidráulico, y se hace el orificio por facilidad de construcción. El diseño del muro se hace considerando los siguientes parámetros:

- Ancho del muro (L)
- Profundidad del río en el punto (h)
- Caudal del río en época de estiaje ($Q_{río1}$)
- Caudal del río en época de crecida ($Q_{río2}$)
- Cabeza de velocidad y de caudal de diseño (H_e)
- Relación talud, para el muro vertical (1H:10V)

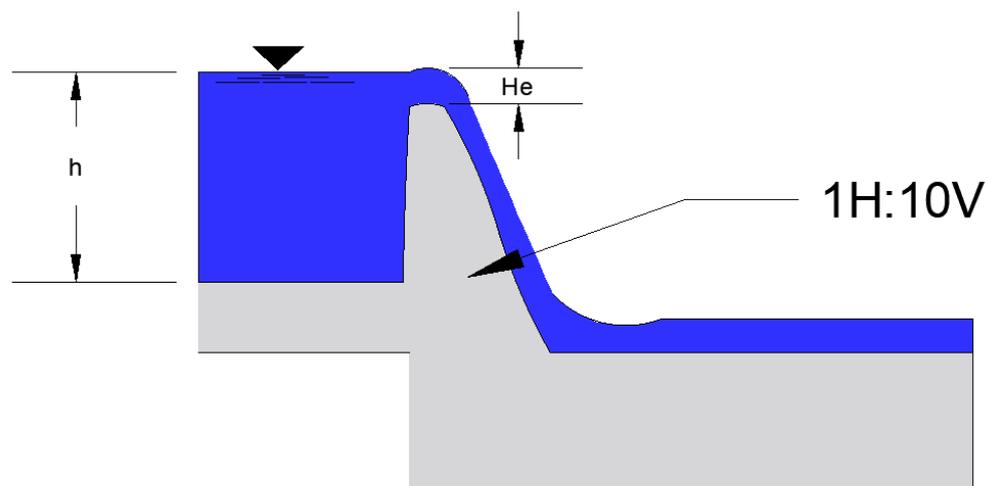


Figura 18: Esquema para cálculo de curvatura del muro [Proaño J.S. 2022].

En la figura anterior, el ancho del muro será el ancho del río en el punto escogido de captación, en este caso es de 2.35 metros.

El proceso de diseño consiste en calcular la altura de agua que se espera tener en la cima del muro, y comprobar si el diseño va a depender de la velocidad. Esto resulta en una curvatura redondeada. El cálculo del azul resulta extenso y complicado, por lo que se presenta en el

Anexo A. Se muestran dos diseños: para el caudal de estiaje, y para el de crecida, ambos dan como resultado una curvatura similar.

El perfil del azul para crecida se ve de la siguiente manera:

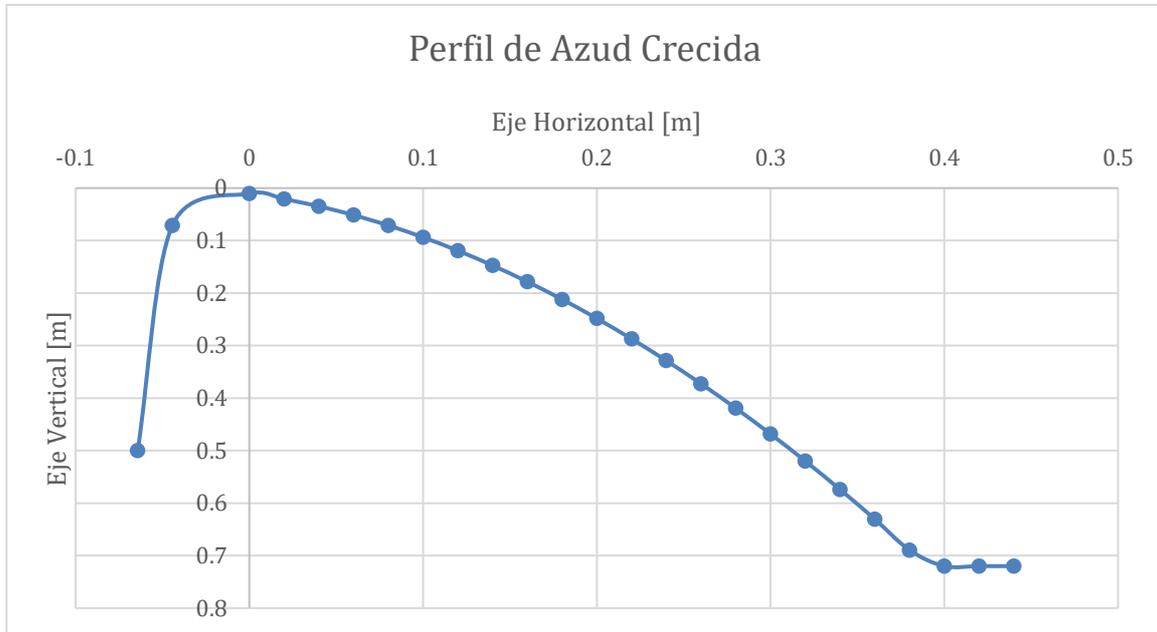


Figura 19: Perfil de Azud para caudal de crecida [Proaño J.S. 2022].

El perfil del azul para estiaje se ve de la siguiente manera:

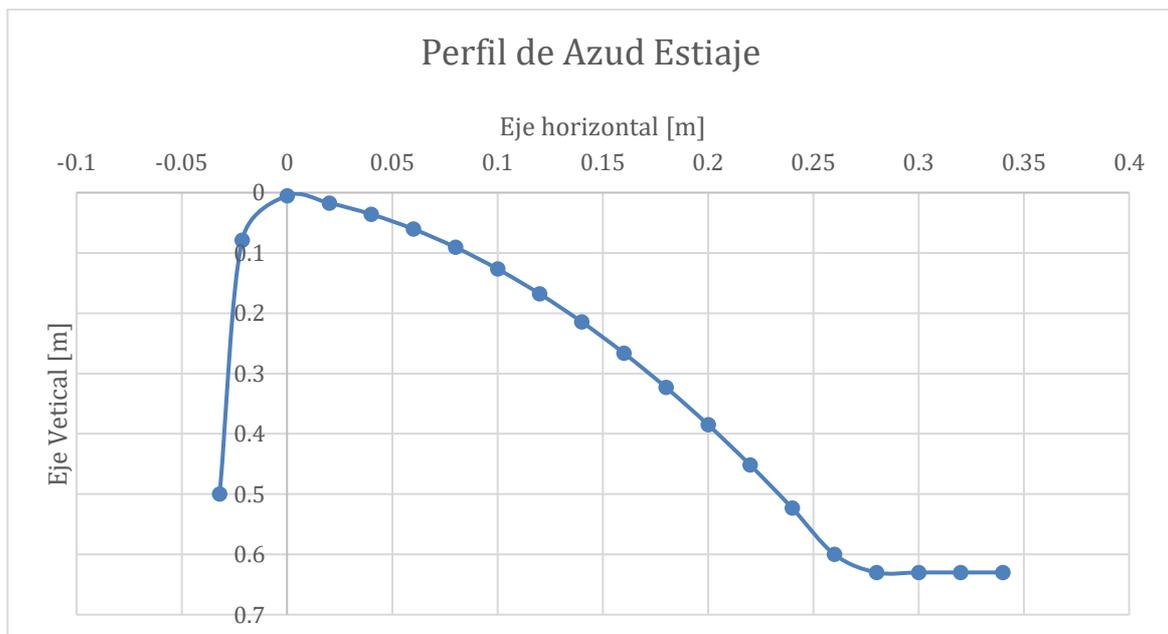


Figura 20: Perfil de Azud para caudal de estiaje [Proaño J.S. 2022].

Siendo el caso más crítico el de crecida, se escoge este para el diseño.

En el caso de que, durante el proceso constructivo hacer la curvatura del azud sea muy complicado, se debe hacer una caída recta con los bordes del muro suavizados o redondeados, teniendo en cuenta las dimensiones mostradas para el cálculo de la cimentación.

Para la cimentación del azud se propone, teniendo en cuenta un peso específico del suelo saturado de 22 kN/m^3 , un ángulo de fricción de 33° , y sin cohesión, las siguientes dimensiones:

Tabla 28: Dimensiones de cimentación de azud [Proaño J.S. 2022].

Dimensiones [m]	
a	0.20
b	0.50
c	0.40
d	0.50
e	0.70
f	0.30
g	0.80
h	0.10

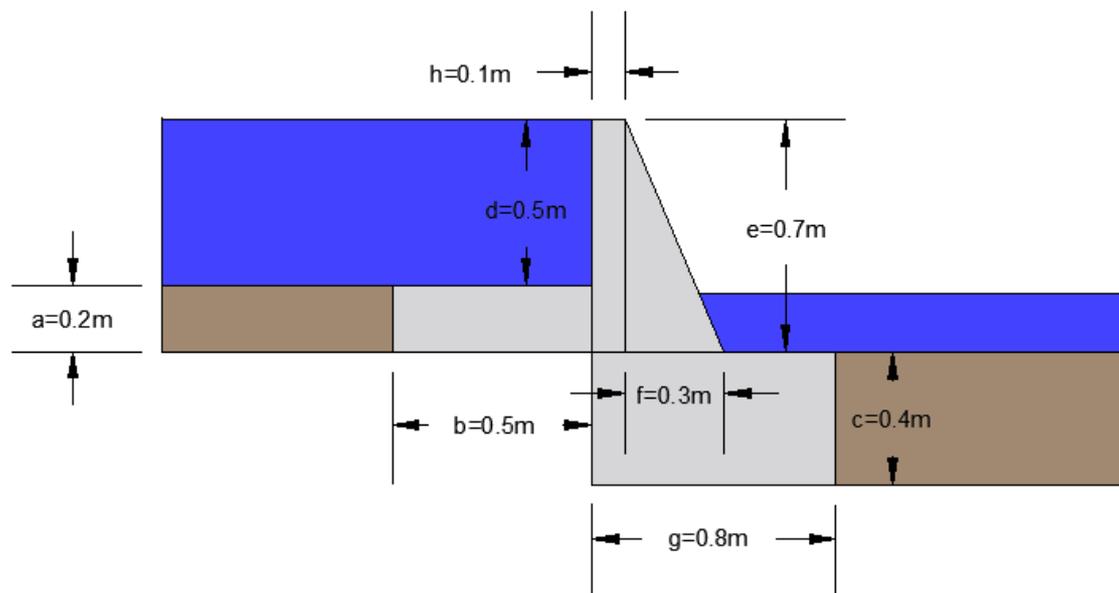


Figura 21: Dimensiones de cimentación para azud [Proaño J.S. 2022].

Con estas dimensiones el muro tiene un factor de seguridad para deslizamiento de 3.36, y para volcamiento de 2.34.

El muro transversal debe tener entonces una altura de 0.50 metros aguas arriba, y 0.70 metros aguas abajo. El nivel del agua por encima del muro será de 8 y 17 centímetros para estiaje y crecida, respectivamente. Por esta razón se debe considerar una altura de la pared lateral de al menos 75 centímetros.

Dicho muro tiene además el orificio por el cual el agua es captada. Para diseñar este sistema hidráulico, se dimensiona el diámetro D la altura h del nivel de agua sobre el orificio, se calcula la ubicación del orificio Y_o , y la altura Y_A de la Pared transversal (azud). El orificio funciona para la suma del caudal promedio de consumo doméstico y de consumo agrario y ganadero. Esto se muestra en el siguiente procedimiento:

$$Q_o = c_o \cdot A_o \cdot \sqrt{2gh}$$

$$A_o = \frac{Q_o \cdot \sqrt{2gh}}{c_o}$$

Asumiendo un h inicial de 0.25 m, y Y_o de 0.25 m, se tiene:

$$A_o = \frac{0.0073 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \sqrt{2g \cdot 0.25 \text{ m}}}{0.62}$$

$$A_o = 0.0053 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot A_o}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0.0053 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$D = 0.082 \text{ m}$$

Se escoge una tubería comercial de 4", cuyo diámetro es de 10.16 cm.

$$Y_A = Y_o + h$$

$$Y_A = 0.25 \text{ m} + 0.25 \text{ m}$$

$$Y_A = 0.50 \text{ m}$$

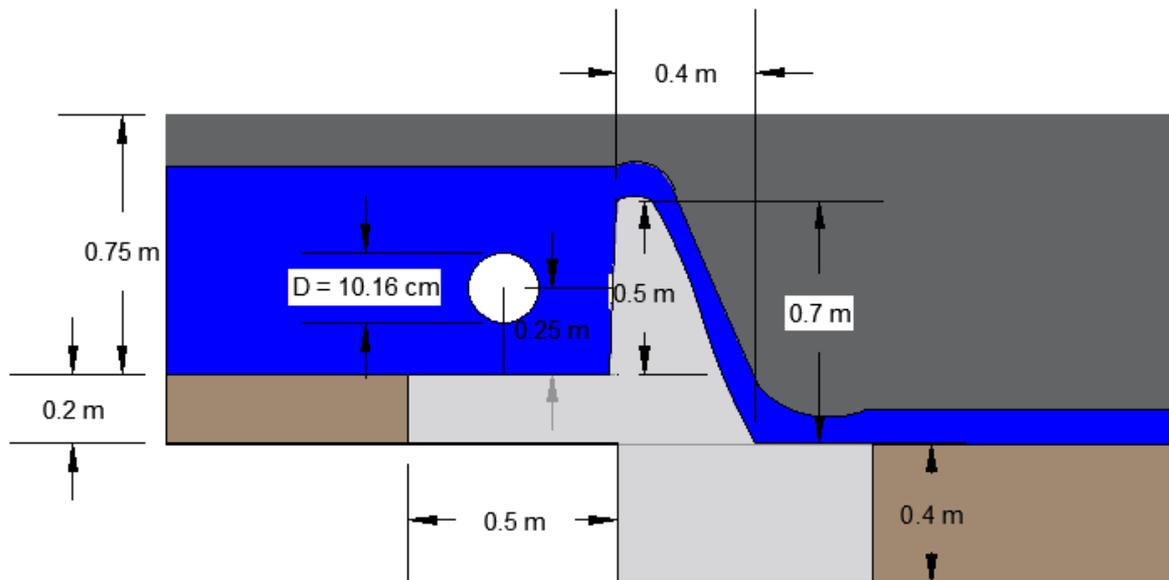


Figura 22: Vista lateral de azud y orificio [Proaño J.S. 2022].

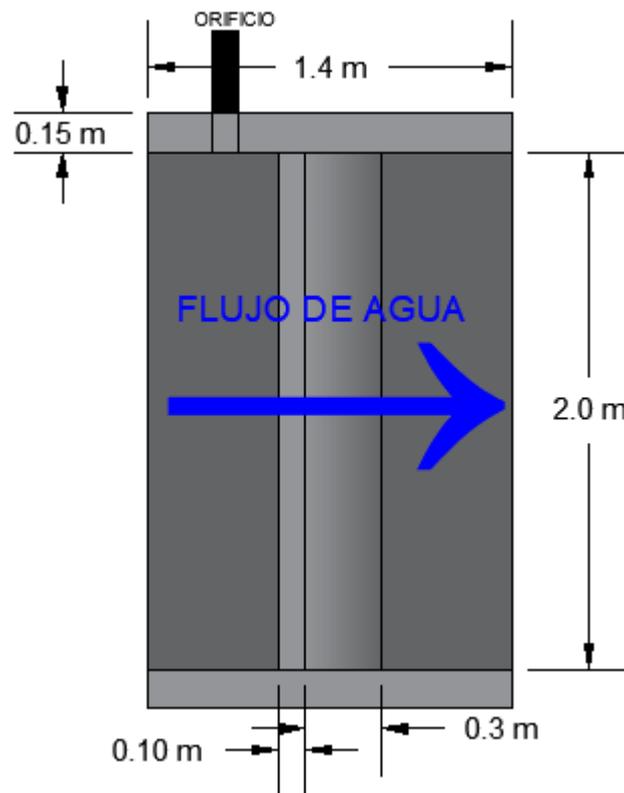


Figura 23: Vista superior de azud y orificio [Proaño J.S. 2022].

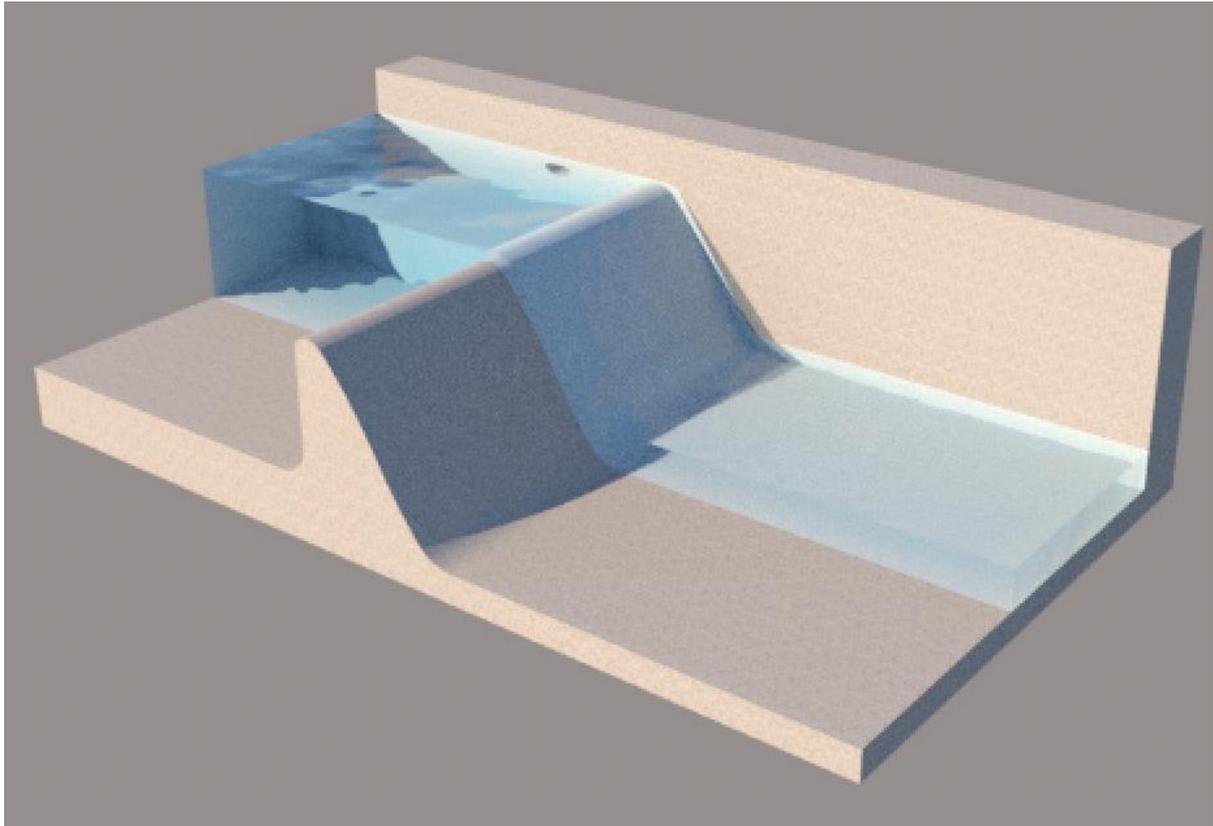


Figura 24: Modelo 3D referencial de obra de captación [J.S. Proaño].

5.2 Estación de tratamiento

El objetivo de la planta de tratamiento es definir varios procesos que permitan alcanzar una calidad de agua específica, en este caso bajo la norma NTE INEN 1108, para que dicha agua sea potable. Para esto se debe conocer el estado actual de la calidad de agua del río. El informe de calidad de agua fue realizado por ANAVANLAB, y los resultados son:

Norma de Comparación: NTE INEN 1108:2020 AGUA PARA COSUMO HUMANO. REQUISITOS Y ANEXOS							
3. RESULTADOS:							
AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO	VALORES DE NORMA	* CUMPLIMIENTO	** INCERTIDUMBRE + % U
1	Arsénico	AAA-PE-A023/ SM 3114 C, 3112 B. EPA 3015	mg/L	< 0,0005	0,01	CUMPLE	NA
1	Cloruros	AAA-PE-A006/ SM 4500-Cl - B	mg/L	< 3,0	NA		NA
1	Color	AAA-PE-A007/ SM 2120 C	Unid PtCo	31	15	NO CUMPLE	18,3
1	Conductividad Eléctrica	AAA-PE-A008/ SM 2510 B	uS/cm	57,9	NA		5,2
1	Dureza Total	AAA-PE-A015/ SM2340 C	mg/L	20,2	NA		10
1	Hierro	AAA-PE-A022/ SM 3111 B. EPA 3015	mg/L	0,29	NA		30
1	pH	AAA-PE-A029/ SM 4500 H+B.	unid pH	6,5	NA		1
1	Sólidos Disueltos Totales	AAA-PE-A032/ SM 2510 A	mg/L	< 100	NA		5,1
1	Sólidos Suspendidos	AAA-PE-A034/ HACH 8006	mg/L	< 30	NA		8,5
1	Turbidez	AAA-PE-A038/ SM 2130 B	NTU	3,59	5	CUMPLE	1
1	COLIFORMES TOTALES NMP	AAA-PE-A015/ SM 9223 B	NMP/100mL	218,7	NA		NA
1	COLIFORMES FECALES NMP	AAA-PE-A015/ SM 9223 B	NMP/100mL	1,0	1,1	CUMPLE	NA
(*)	MESÓFILOS AEROBIOS TOTALES	SM 9215 D	UFC/100mL	< 1,0	NA		NA

Figura 25: Resultados de ensayo de calidad del agua Quebrada Alpatola [ANAVANLAB, 2022].

Con esta información se puede evidenciar claramente los parámetros a modificar con tratamientos químicos y físicos encadenados que permiten la remoción de materia mineral, materia orgánica, y contaminantes biológicos que presenten una amenaza contra la salud.

Estos son:

- Color – 31 – Amarillo suave.
- Dureza – 20.2 mg/L – Ligeramente dura.
- Turbidez – 3.59 mg/L – Pérdida ligera de transparencia por partículas suspendidas.
- Coliformes totales – 218.7 NMP/100mL – Presencia media alta de bacterias de origen orgánico potencialmente perjudiciales.
- Coliforme fecales – 1.0 NMP/100mL – Presencia alta de bacterias y coliformes de origen fecal.

Teniendo en cuenta esto se proponen algunos procesos posibles de depuración, remoción, y eliminación, para cada parámetro del agua.

Tabla 29: Procesos de remoción [Proaño J.S. 2022].

Parámetro	Proceso de Remoción 1	Proceso de Remoción 2	Proceso de Remoción 3
Color	Filtración	Carbón activado*	Cloración
Dureza	Cloración	Filtración	Intercambio Iónico*
Turbidez	Sedimentación	Coagulación y floculación	Filtración
Coliformes Totales	Cloración	Luz UV*	Ozonización*
Coliformes Fecales	Cloración	Luz UV*	Ozonización*

**Opcionales o alternativas*

Con dicho análisis, es conveniente realizar una estación de tratamiento con los procesos en el siguiente orden:

1. **Pretratamiento:** consiste en la preparación y limpieza del agua por medio de rejillas para evitar la intrusión de hojas, escombros, y basura.
2. **Sedimentación:** se separan los sólidos suspendidos de los líquidos mediante una decantación por gravedad (desarenador), y se añade un agente coagulante de ser necesario.
3. **Filtración:** proceso en el cual el agua pasa por un sistema poroso y aumenta su calidad.
4. **Desinfección:** proceso en el cual se añade una concentración de cloro en el medio acuoso para eliminar los contaminantes restantes, mejorar el color, olor, y sabor.

5.3 Proceso de pretratamiento

Para la limpieza de basuras, hojas, y materiales que puedan estorbar en la planta de tratamiento se utilizan mallas metálicas. Debido a que el canal es relativamente pequeño, instalar una rejilla típica no es conveniente por su tamaño y fabricación. Por lo tanto, se

coloca una malla de aluminio galvanizada, con agujeros cuadrados o hexagonales de hasta 1 pulgada, en la entrada y salida de cada tubería en: la obra de captación, el desarenador, y el filtro. Esta se coloca perpendicularmente al flujo del agua.

Tubería No. 4

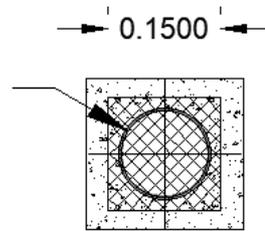


Figura 26: Vista transversal de malla en orificio [Proaño J.S. 2022].

Tubería No. 6

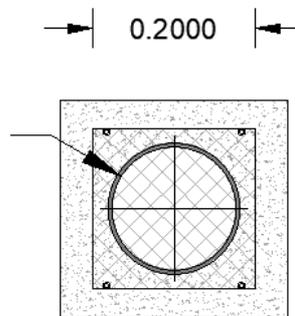


Figura 27: Vista transversal de malla en entrada del desarenador [Proaño J.S. 2022].

Se debe hacer mantenimiento de limpieza de basura de la malla cada semana. Se recomienda cambiar la lámina cuando se vea afectada por alguno de los siguientes factores:

- Presencia de óxido y corrosión
- Daños o cortes de la malla
- Uso seguido de 12 meses

5.4 Proceso de Sedimentación

El proceso de sedimentación busca sedimentar las partículas de arena y arcilla presentes en el agua cruda. Del estudio de calidad del agua se obtuvo que la presencia de arena y partículas de arcilla es muy leve, por lo que se diseña un desarenador. Con el desarenador no es necesario tener un tratamiento específico de coagulación y floculación. El diseño del desarenador está dado por lo siguiente:

- I. Cámara de aquietamiento
- II. Almacenamiento de lodos
 - Pantalla de entrada
 - Pantalla de salida
- III. Vertedero de salida

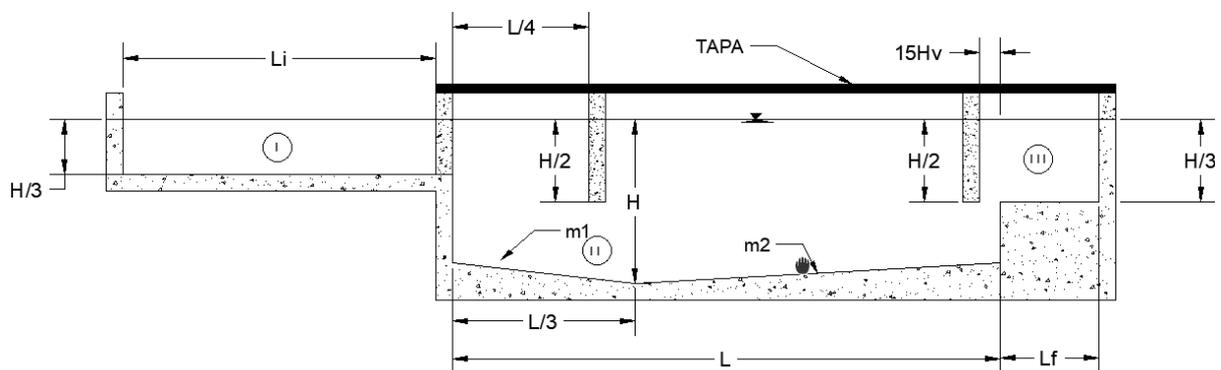


Figura 28: Esquema y nomenclatura para vista lateral de desarenador [Proaño J.S. 2022].

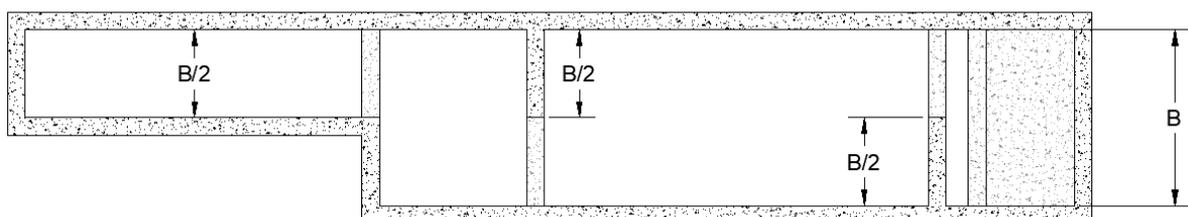


Figura 29: Esquema y nomenclatura para vista superior de desarenador [Proaño J.S. 2022].

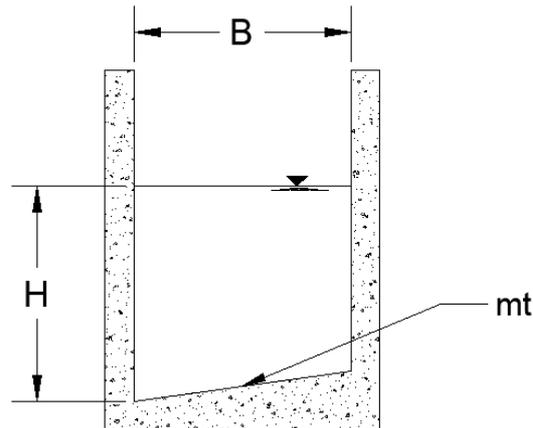


Figura 30: Esquema y nomenclatura para vista transversal de desarenador [Proaño J.S. 2022].

Como recomendación se deja a criterio del diseñador los valores de L_i y L_f , en este caso ambos se asumen de 1 metro de longitud. El espesor de las paredes y losas se deja a criterio de un ingeniero estructural, y asumidas en este caso como 20 centímetros en su parte más delgada.

El tanque de sedimentación se diseña para remover partículas de las siguientes características, en base al caudal promedio máximo diario (13.04 L/s), del agua para uso doméstico, y uso agrícola y ganadero.

Tabla 30: Características de partícula crítica [Proaño J.S. 2022].

Parámetro	ID	Valor	Unidades
Gravedad	g	981	cm/s ²
Temperatura del agua	T	10	°C
Densidad agua	ρ_w	0.9997026	gm/cm ³
Viscosidad cinemática	η_w	0.01308	cm ² /s
Caudal de diseño	Q_{dis}	0.01304	m ³ /s
Densidad Partícula	ρ_s	2.65	gm/cm ³
Diámetro de partícula	d_s	0.05	mm
Diámetro de partícula	d_s	0.005	cm

Predimensionando de acuerdo con las recomendaciones del libro de López, se escogen los valores para el diseño del desarenador mostrados a continuación:

Tabla 31: Parámetros del desarenador [Proaño J.S. 2022].

Parámetro	ID	Valor	Unidades
Altura	H	150	cm
Factor de Seguridad (Número de Hazen)	FS	3	-
Porcentaje de Remoción	% Rem	75%	-
Grado desarenador	n	1	-

Con dichos datos se procede a hacer el cálculo de la velocidad de sedimentación:

$$v_s = \frac{g(\rho_s - \rho_w)D^2}{18 \eta_w}$$

$$v_s = 981 \frac{cm}{s^3} \frac{(2.65 \frac{g}{cm^3} - 0.9997026 \frac{g}{cm^3}) (0.005cm)^2}{18 (0.01308 \text{ poise})}$$

$$v_s = 0.17 \frac{cm}{s}$$

El tiempo de sedimentación se calcula como:

$$t_s = \frac{H}{v_s}$$

$$t_s = \frac{150 \text{ cm}}{0.17 \frac{cm}{s}}$$

$$t_s = 873 \text{ s} = 15 \text{ min}$$

El periodo de retención hidráulico está dado como:

$$\theta = t_s \cdot FS$$

$$\theta = 15 \text{ min} \cdot 3$$

$$\theta = 45 \text{ min} = 2618 \text{ s}$$

Con el periodo de retención hidráulico y el caudal se puede encontrar el volumen del tanque:

$$V = \theta \cdot Q$$

$$V = 2618 \text{ s} \cdot 0.01304 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V = 34.13 \text{ m}^3$$

Con el volumen se encuentran las dimensiones B, y L:

El área del tanque está determinada como:

$$A = \frac{V}{H}$$

$$A = \frac{33.13 \text{ m}^3}{1.50 \text{ m}}$$

$$A = 22.75 \text{ m}^2$$

Se recomienda que el ancho del tanque se calcule de la siguiente manera:

$$B = \sqrt{\frac{A}{4}}$$

$$B = \sqrt{\frac{22.75 \text{ m}^2}{4}}$$

$$B = 2.40 \text{ m}$$

Y la longitud se recomienda que sea 4 veces el ancho:

$$L = 4 \times B$$

$$L = 4 \times 2.40 \text{ m}$$

$$L = 9.55 \text{ m}$$

Con estos datos se calculan los parámetros adicionales del esquema del desarenador, redondeando los valores cada 5 centímetros para facilidad de construcción:

Tabla 32: Dimensiones para desarenador de agua potable [Proaño J.S. 2022].

H	1.50
B	2.40
L	9.55
H/2	0.75
H/3	0.50
B/2	1.20
L/3	3.20
L/4	2.40
15H_v	0.35
m1	6%
m2	3%
mt	8%

El parámetro 15H_v es la distancia al vertedero de salida, y se calcula como:

$$15H_v = 15 \times \left(\frac{Q}{1.84 \times B} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$15H_v = 15 \times \left(\frac{0.01403 \text{ m}^3}{1.84 \times 1} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$15H_v = 0.35 \text{ m}$$

Las pendientes deben ser calculadas de la siguiente manera:

$$m_{transversal} = \frac{F_{Profundidad}}{B}$$

$$m_{longitudinal 1} = \frac{F_{Profundidad}}{\frac{1}{3}L}$$

$$m_{lonitudinal 2} = \frac{F_{Profundidad}}{\frac{2}{3}L}$$

Donde el factor de profundidad es:

$$F_{Profundidad} = |\text{Profundidad mínima usada} - \text{Profundidad máxima usada}|$$

$$F_{Profundidad} = |0.35 \text{ m} - 0.55 \text{ m}|$$

$$F_{Profundidad} = 0.20 \text{ m}$$

Por lo tanto, las pendientes son:

$$m_{transversal} = \frac{0.20 \text{ m}}{2.40} = 8\%$$

$$m_{longitudinal 1} = \frac{0.20 \text{ m}}{\frac{1}{3}(9.55 \text{ m})} = 6\%$$

$$m_{lonitudinal 2} = \frac{0.20 \text{ m}}{\frac{2}{3}(9.55 \text{ m})} = 3\%$$

A continuación, se presentan los esquemas técnicos del desarenador:

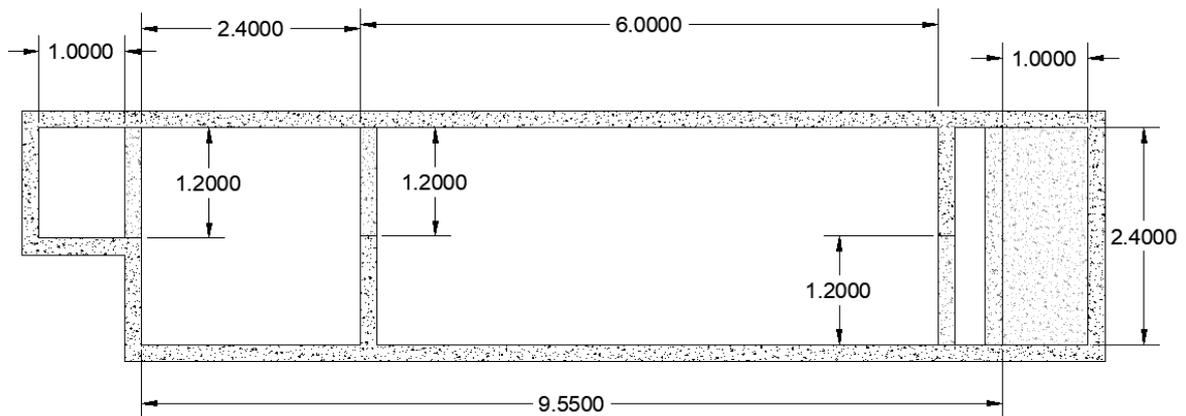


Figura 31: Vista superior del desarenador [Proaño J.S. 2022].

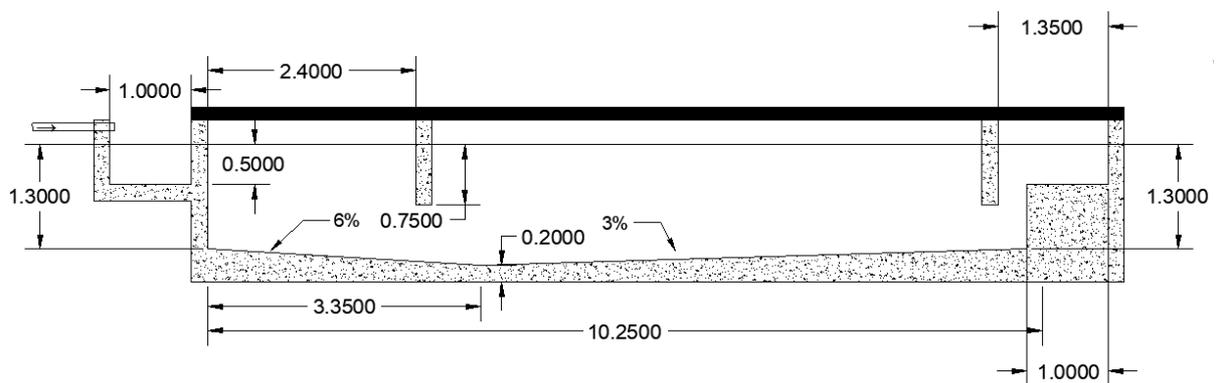


Figura 32: Vista lateral del desarenador [Proaño J.S. 2022].

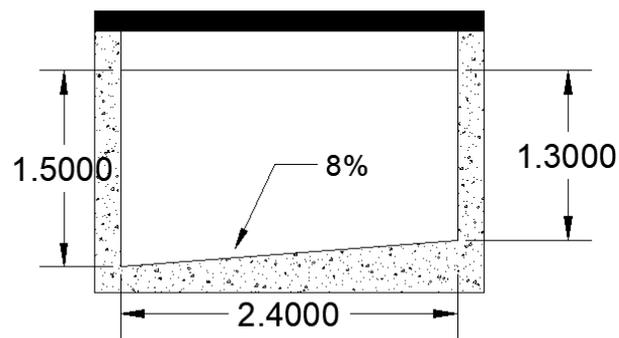


Figura 33: Vista transversal del desarenador [Proaño J.S. 2022].

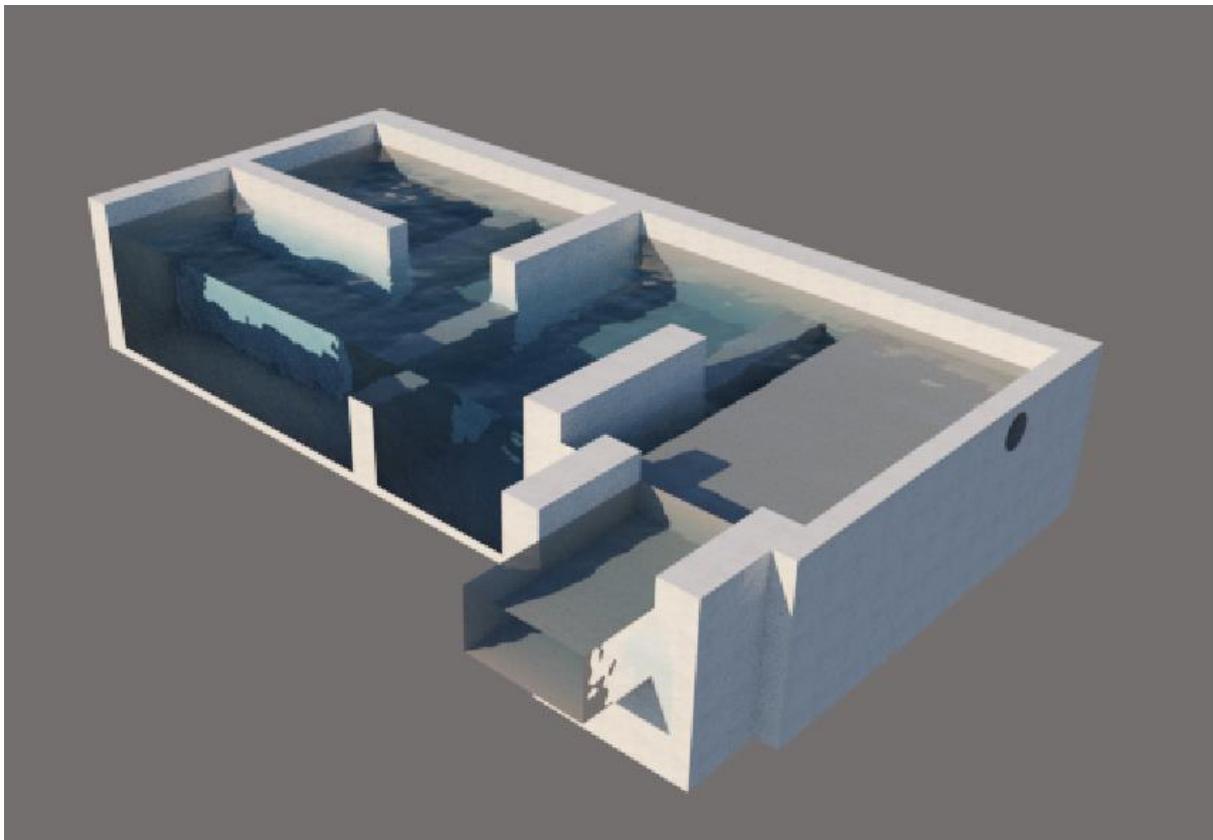


Figura 34: Modelo 3D referencial de desarenador [J.S. Proaño].

Para la limpieza de lodos debe detenerse el funcionamiento del desarenador por aproximadamente dos horas, tiempo en el cual es vaciado mediante una tubería con válvula en el fondo. El caudal de limpieza para este desarenador es el recomendado con un valor de 1.1 L/s (López R. 2003).

En la cámara de salida del desarenador existen dos tuberías, ambas No. 4, que llevan el agua para consumo potable, y consumo agrícola y ganadero por separado. Como se menciona antes, el agua para riego y ganado no se trata con otros procesos y va directamente al tanque de almacenamiento.

5.5 Proceso de Filtración

El proceso de filtración se propone específicamente para eliminar la turbiedad y mejorar el color, mediante la retención de las partículas que lograron pasar el desarenador. Para el dimensionamiento y diseño del proceso de filtración, se toma en cuenta el caudal máximo semanal, siendo este 1.84 L/s. Para este proyecto se propone un filtro intermedio, también llamado filtro lento modificado, o filtro grueso ascendente por lo que el diseño se hace teniendo en cuenta una tasa de filtración de 0.6 m/hr (OPS., 2005). Se propone la utilización de dos capas: la primera es un medio filtrante de arena de 90 centímetros de espesor, y la segunda es una capa de grava de 50 centímetros de espesor (López R. 2003). En el caso de ser necesario se puede agregar una o más capas adicionales, esto resultaría en una variación de las dimensiones de los tanques.

Se tiene entonces los siguientes parámetros:

Tabla 33: Propiedades del tanque de filtración [Proaño J.S 2022].

Material por filtrar	Partículas < 0.01 mm	-
Tasa de Filtración	0.6	m/hr
Agua sobrenadante	1	m
Medio Filtrante	0.9	m
Drenaje (Grava)	0.5	m
Filtro ultrafino	-	m

Se calcula entonces el área del filtro:

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

$$A = \frac{6.27 \frac{m^3}{hr}}{0.6 \frac{m}{hr}}$$

$$A = 10.45 m^2$$

Asumiendo inicialmente que cada filtro es de 15 m² se obtiene el número de filtros:

$$Num. Filtro = \frac{A_T}{A_i}$$

$$Num. Filtro = \frac{10.45 m^2}{15 m^2}$$

$$Num. Filtro = 1$$

Se diseñan entonces 2 filtros, considerando uno de estos en caso del daño de uno del otro. El área total de 11.03 m² se considera ahora que estará dividida para 2 filtros:

$$A_f = \frac{A_T}{Num. Filtros Total}$$

$$A_f = \frac{10.45 m^2}{2}$$

$$A_f = 5.23 m^2$$

$$A_f = 6 m^2$$

Con dicha área, se puede encontrar el volumen de cada filtro multiplicando por la altura, que en este caso es la suma del agua sobrenadante, el material filtrante, y el drenaje:

$$V = A_f \cdot h$$

$$V = 6 m^2 \cdot 2.4 m$$

$$V = 14.4 m^3$$

Con este volumen inicial, se dimensionan la longitud, y ancho del tanque de filtración, para que, con la altura obtenida se obtenga un volumen igual o superior.

$$B = \sqrt{A_f}$$

$$B = \sqrt{6 \text{ m}^2}$$

$$B = 2.45 \text{ m}$$

Redondeando las dimensiones, se toman valores de:

$$B = 2.45 \text{ m}$$

$$H = 2.4 \text{ m}$$

$$L = 2.8 \text{ m}$$

$$V = B \times H \times L$$

$$V = 2.45 \times 2.4 \times 2.8$$

$$V = 16.46 \text{ m}^3$$

Los 2 tanques se colocan en paralelo, uno al lado del otro. Para el caso que uno de los filtros no esté en funcionamiento, cada uno de estos tendrá una llave de paso en la boca de la tubería.

El diseño y esquema de los filtros se propone como tanques cúbicos de las dimensiones siguientes:

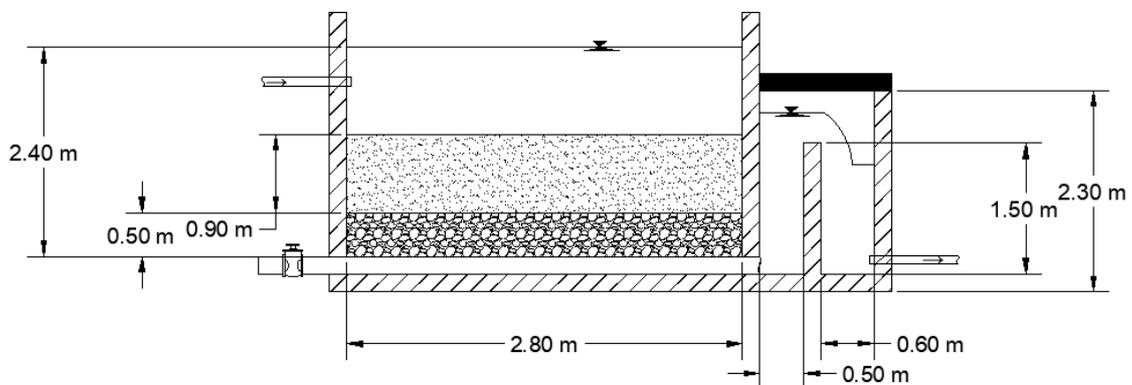


Figura 35 Filtro intermedio vista lateral [Proaño J.S. 2022].

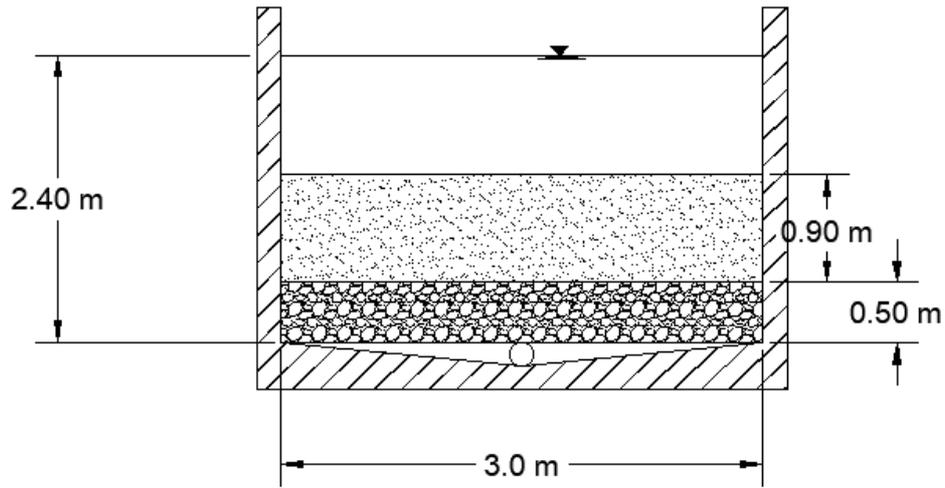


Figura 36: Esquema filtro intermedio vista transversal [Proaño J.S. 2022].

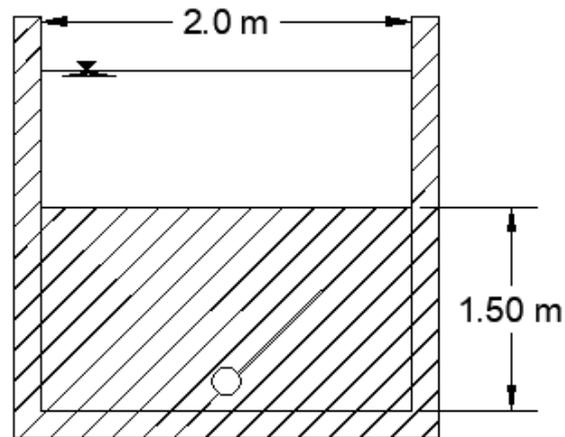


Figura 37: Esquema de pantalla de salida vista transversal [Proaño J.S. 2022].

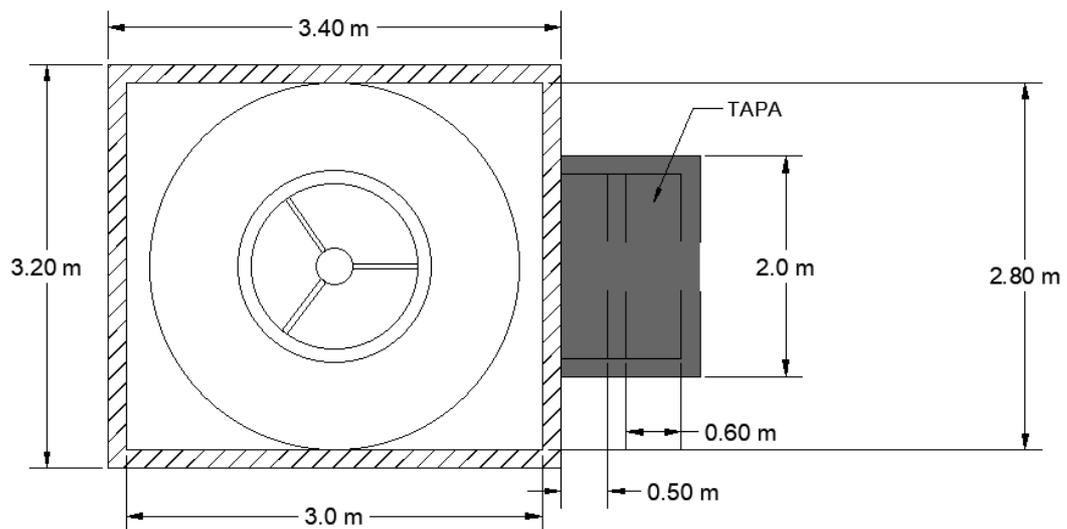


Figura 38: Esquema filtro intermedio vista superior [Proaño J.S. 2022].

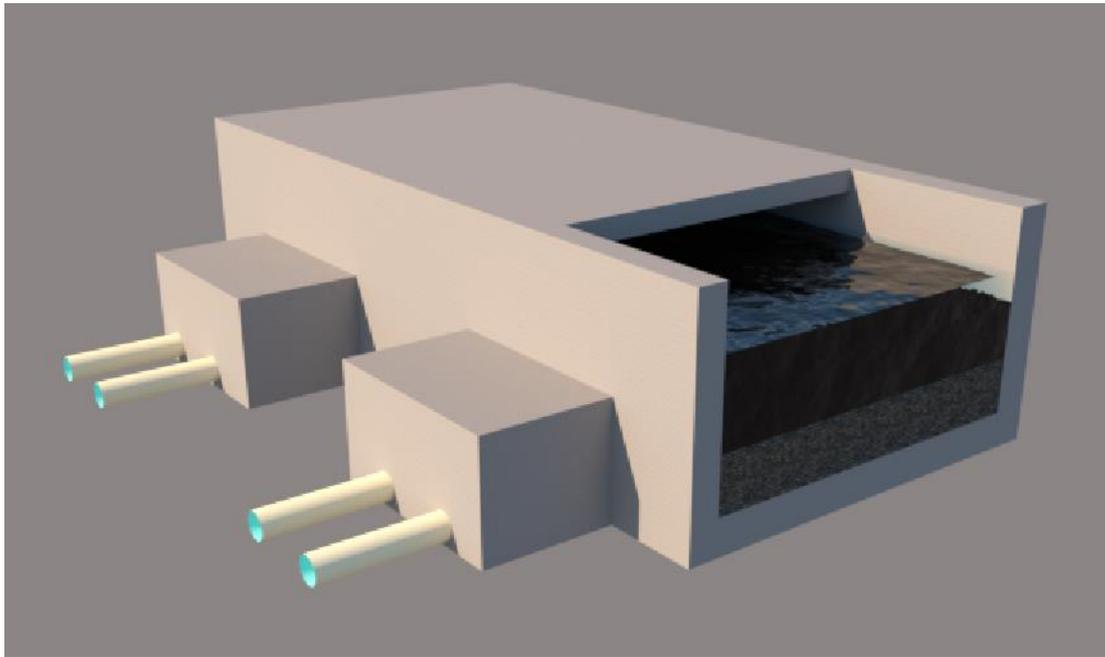


Figura 39: Modelo 3D referencial para filtros en paralelo [J.S. Proaño].

5.6 Proceso de desinfección

Esta última parte de la planta de tratamiento de agua potable ocurre dentro de una cámara de desinfección, que contiene el agua tratada previamente, pero ahora con una dosis de cloro que se diluye de pastillas. El proceso de desinfección utiliza el cloro para eliminar las bacterias restantes después de todo el tratamiento.

Se debe determinar el porcentaje de ácido hipocloroso que se halla presente en la fuente hídrica, sabiendo que el valor del pH es 6.5, y la constante de ionización del ácido hipocloroso es $K = 3.36 \times 10^{-8}$. Esto para tener una idea de qué tan limpia es el agua, y analizar qué medidas pueden tomarse para su desinfección.



$$(X - Y) = Y + Y$$

$$\log k_a = pH = 6.5$$

$$[H^+] = 10^{-6.5} = 3.16 \times 10^{-7}$$

$$k_a = \frac{(Y)(Y)}{(x - y)} = 3.36 \times 10^{-8}$$

$$k_a = \frac{[OCl][H]}{[HOCl]}$$

$$[HOCl] = \frac{[OCl][H]}{k_a}$$

Como es una relación 1:1, $[OH] = [H^+]$

$$[OCl] = [H]$$

$$[HOCl] = \frac{[3.16 \times 10^{-7}][3.16 \times 10^{-7}]}{3.36 \times 10^{-8}}$$

$$[HOCl] = 2.98 \times 10^{-6} \frac{mol}{L}$$

Sabiendo que los pesos molares del hidrogeno, oxígeno y cloro son:

$$H = \frac{1 \text{ g}}{mol}$$

$$O = \frac{16 \text{ g}}{mol}$$

$$Cl = \frac{35.5 \text{ g}}{mol}$$

Entonces, se encuentra el peso para la reacción



$$52.5 \frac{g}{mol} \leftrightarrow 51.5 \frac{g}{mol} + 1 \frac{g}{mol}$$

Sumando los pesos se obtiene 105 g/L

$$HOCl = 2.97 \times 10^{-6} \frac{mol}{L} \times 52.5 \frac{g}{mol} = 1.56 \times 10^{-4} \frac{g}{L}$$

$$OCl^- = 3.16 \times 10^{-7} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 51.5 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 1.63 \times 10^{-5} \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

$$H^+ = 3.16 \times 10^{-11} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \times 1 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 3.16 \times 10^{-7} \frac{\text{g}}{\text{L}}$$

Sumando los resultados se obtiene $1.73 \times 10^{-4} \text{ g/L}$

El porcentaje se encuentra dividiendo:

$$\%HOCl = \frac{1.56 \times 10^{-4} \frac{\text{g}}{\text{L}}}{1.73 \times 10^{-4} \frac{\text{g}}{\text{L}}} \times 100$$

$$\%HOCl = 90\%$$

Ahora, para el proceso de desinfección del caudal promedio diario (1.18 L/s) se requiere una dosis de cloro de 2.35 mg/L. Se determina la cantidad en kilogramos de cloro necesario para el abastecimiento de 6 meses.

$$M_{Cl} = Q_{prom \text{ día}} \cdot Dosis$$

$$M_{Cl} = 1.18 \frac{\text{L}}{\text{s}} \cdot 2.35 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} \cdot \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ día}} \cdot \frac{30.5 \text{ días}}{1 \text{ mes}} \cdot 6 \text{ meses}$$

$$M_{Cl} = 43.96 \text{ kg por 6 meses}$$

La dosis de cloro se pretende suministrar mediante la adición del compuesto hipoclorito de sodio. La concentración del hipoclorito de sodio es de 145 g NaClO/ L, el cual contiene 85% de concentración de cloro. La cantidad de litros de NaClO se requieren para suministrar el cloro necesario para el abastecimiento de 4 meses, está dada por el siguiente cálculo:

$$M_{NaClO} = Q_{prom \text{ día}} \cdot Dosis$$

$$M_{Cl} = 1.18 \frac{\text{L}}{\text{s}} \cdot 2.35 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{10^6 \text{ mg}} \cdot \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ día}} \cdot \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}}$$

$$M_{Cl \ 85\%} = 87.68 \text{ kg al año de Cl}$$

$$M_{100\%} = 103.16 \text{ kg al año de Cl}$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{103.16 \text{ kg al año}}{145 \frac{\text{g}}{\text{L}}} = 711 \text{ L al año de NaClO}$$

El valor de la masa se usa para sacar el costo de operación anual, sabiendo el costo unitario de 197 USD por cada 25 kilogramos:

$$C. \text{ Anual} = M_{\text{NaClO}} \text{ anual} \cdot C. U$$

$$C. \text{ Anual} = 103.16 \text{ kg} \cdot 7.88 \frac{\$}{\text{kg}}$$

$$C. \text{ Anual} = 812.88 \$$$



Figura 40: Pastillas de tricloro [Gianni, 2022].

Se determina el volumen del tanque de desinfección para un tiempo de contacto de 45 minutos.

$$V_{\text{tanque}} = Q \cdot t$$

$$V_{\text{tanque}} = 1.18 \frac{\text{L}}{\text{s}} \cdot 45 \text{ min}$$

$$V_{\text{tanque}} = 3.20 \text{ m}^3$$

Con el volumen del tanque se proponen las dimensiones de la cámara de cloración:

$$B = \sqrt[3]{V_{\text{tanque}}}$$

$$B = \sqrt[3]{3.20 \text{ m}^3}$$

$$B = 1.06 \text{ m}$$

Se considera 1.50 para facilidad de construcción, y se prueban diferentes valores de altura y longitud, hasta que el volumen real sea igual o mayor al volumen calculado anteriormente.

$$V_{Real} = B \times H \times L$$

$$V_{Real} = 1.5 \text{ m} \times H \times L$$

$$V_{Real} = 1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$$

$$V_{Real} = 3.38 \text{ m}^3$$

La cámara de cloración recibe el agua del tanque de filtración y, mediante un dosificador de cloro desinfecta el agua. Se muestra el esquema de la cámara:

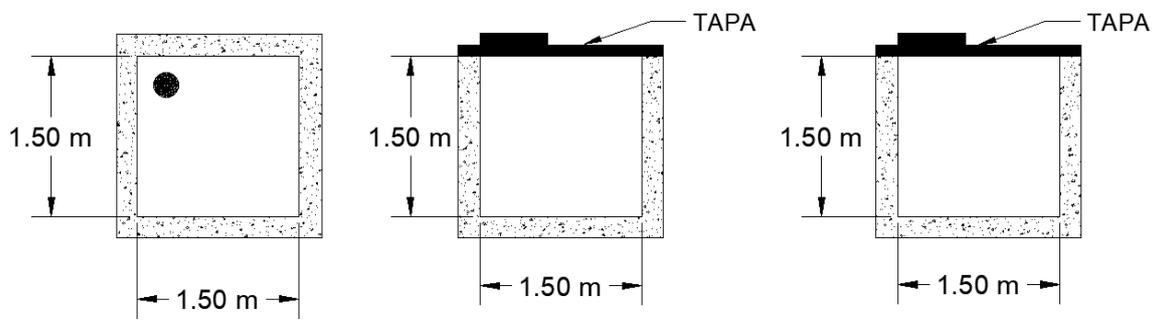


Figura 41: Cámara de cloración vista superior, lateral, y transversal [Proaño J.S. 2022].

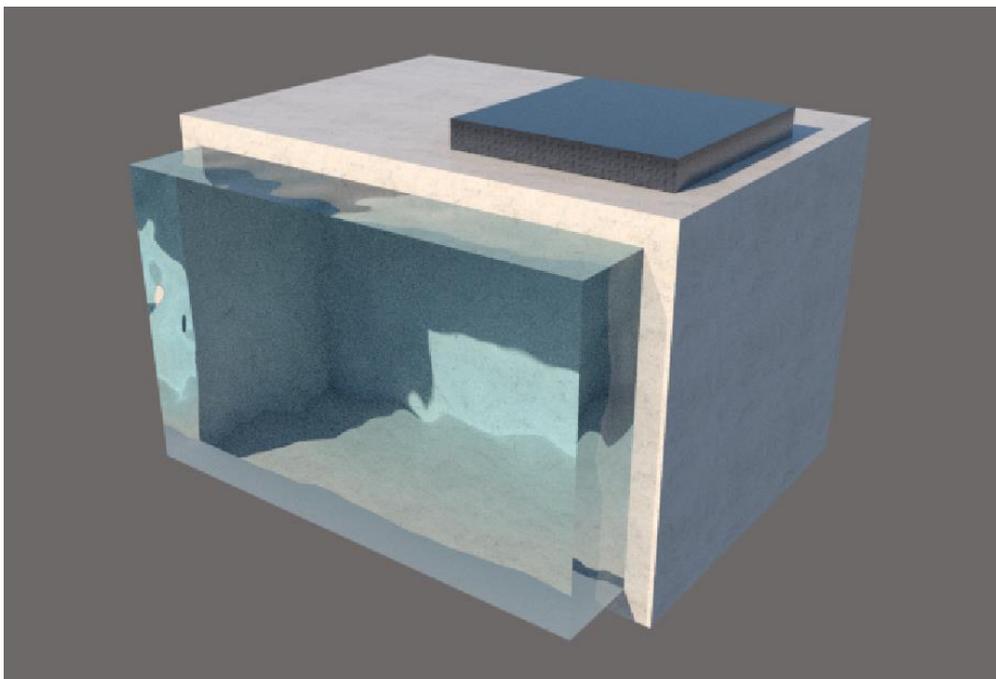


Figura 42: Modelo 3D referencial de tanque de desinfección [J.S. Proaño].

5.7 Tanques de almacenamiento

No es necesario un tanque de almacenamiento porque el río siempre va a tener caudal suficiente para abastecer a la población, además de que el sector está en un exceso hídrico.

Sin embargo, para emergencias se podría considerar que cada cierto grupo de residencias exista una cisterna que sea capaz de abastecer de agua por 3 días.

Por ejemplo, se toma en cuenta una cisterna por cada 10 residencias (40 habitantes en total) que daría un total de 6 cisternas para toda la población, resultando en un volumen como se muestra:

$$V = \text{Consumo} \times \text{tiempo} \times \text{consumidores}$$

$$V = 340.7 \text{ L/hab/día} \times 3 \text{ días} \times 40 \text{ habitantes}$$

$$V = 40.89 \text{ m}^3$$

Haciendo el mismo proceso para dimensionar la cámara de cloración, se obtienen las dimensiones de cada cisterna:

$$B = \sqrt[3]{40.89 \text{ m}^3}$$

$$B = 3.45 \text{ m}$$

$$V_{Real} = B \times H \times L$$

$$V_{Real} = 3.45 \text{ m} \times H \times L$$

Asumiendo los valores de 5.90 metros para la longitud, y 2 metros para la profundidad de la cisterna:

$$V_{Real} = 3.45 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 5.9 \text{ m}$$

$$V_{Real} = 40.71 \text{ m}^3$$

Se deberían construir entonces 6 cisternas, cada una para la reserva de 3 días del consumo total (41 m³), para cada grupo de 10 residencias. Nuevamente se menciona que esto no es necesario.

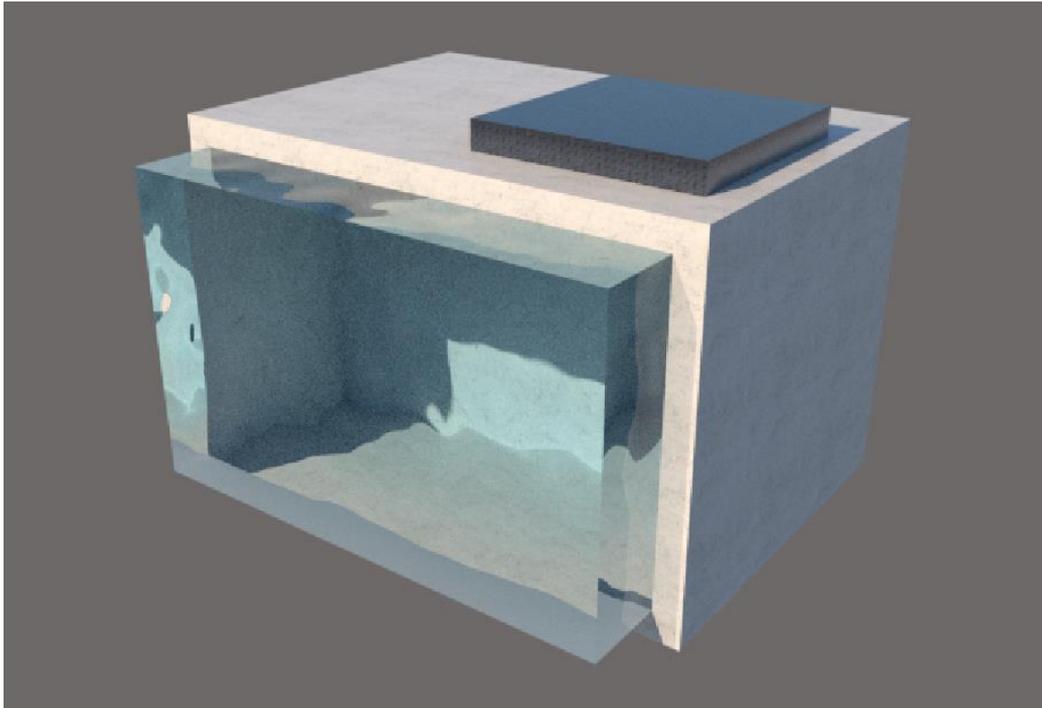


Figura 43: Modelo 3D referencial de cisterna [Proaño J.S. 2022].

5.8 Sistema contra incendios

Como se menciona anteriormente, el caudal de incendios estará provisto por el agua cruda que solo pasa por el tratamiento del desarenador. Este caudal no solo es para combatir el caso de un incendio sino para el abastecimiento del riego y consumo de agua para el ganado. El diseño del sistema contra incendios incluye la colocación de hidrantes, la construcción de un tanque elevado para almacenamiento y para regular la presión, y la distribución del caudal con tuberías subterráneas.

De acuerdo con el Reglamento de Prevención, Mitigación y Protección Contra Incendios (MIES., 2009), los sistemas hidrantes deben instalarse en vía pública manteniendo una distancia de 200 metros entre unidades. Al contar con una vía de 2144 metros, resulta en 11 hidrantes con sus respectivas válvulas.

El tanque elevado considera la situación más crítica posible entre:

- El caudal de flujo contra incendios mantenido por 2 horas
- Entre 10 y 30% del caudal máximo diario por 3 horas
- 0.25 veces el caudal máximo diario por 3 horas de déficit
- Tasa de bombeo uniforme durante 8 horas de exceso

Estos cálculos se realizan considerando los caudales del agua cruda.

Tabla 34: Desglose de caudales mayorados de agua cruda [Proaño J.S. 2022].

Caudales agua cruda (L/s)	
$Q_{\text{prom día}}$	6.00
$Q_{\text{max día}}$	10.75
$Q_{\text{max sem}}$	8.83
$Q_{\text{max hora}}$	16.01

Obteniendo la siguiente tabla:

Tabla 35: Resumen de volúmenes para almacenamiento [Proaño J.S. 2022].

Volumen de almacenamiento crítico		
V1	1495.93	m ³
V2	0.0097	m ³
V3	0.0081	m ³
V4	0.0206	m ³

Es evidente que la situación más crítica es la de un incendio por 2 horas de la edificación más grande que es el centro comunitario. La construcción de un tanque tan grande resulta excesivamente costoso, complicado, e ineficiente, por lo que su dimensionamiento considera una reducción bajo los siguientes criterios sugeridos:

- El centro comunitario debe reducir su área.
- El centro comunitario debe ser construido en lo posible con materiales resistentes al fuego o como mínimo no combustibles.

- Seccionar el centro comunitario en diferentes bloques de construcción para evitar el esparcimiento del fuego.

Reduciendo el área a 900 m² en planta, dividiendo los bloques en 2 zonas para las diferentes actividades de la comunidad, y haciendo la construcción con hormigón resistente al fuego, se tienen los siguientes parámetros:

Tabla 36: Recomendaciones y rediseño de área comunal [Proaño J.S. 2022].

REDISEÑO ÁREA COMUNAL		
c	0.9	-
Área en planta	450.00	m ²
Pisos	2	-
Caudal de incendios	6021	L/min
Volumen crítico	722.52	m ³
Qf	100	L/s
h	7.75	m
r	5.50	m
Volumen real	736.51	m ₃

Para una presión de 150kPa, se utiliza la ecuación de la carga piezométrica para calcular la altura del tanque:

$$h = \frac{P}{\gamma}$$

$$h = \frac{150}{9.81}$$

$$h = 15.29m$$

Se diseñaría entonces un tanque elevado a una altura de 15.30 metros, en la zona residencial más baja del terreno del proyecto, con dimensiones de 5.50 metros de radio y 7.75 metros de altura. La conducción del agua desde el tanque está explicada en la siguiente sección.



Figura 44: Modelo 3D referencial de tanque elevado [Proaño J.S. 2022].

5.9 Sistema de distribución al usuario

El diseño del sistema de distribución se divide en dos partes: agua potable y agua cruda. El caudal de diseño involucra la demanda máxima horaria de agua potable y el caudal para incendios de agua cruda. Ambos caudales son un sistema independiente de tuberías, ubicados a lo largo de las vías de tránsito interno del terreno.

A modo de ejemplo de cálculo, se hace el procedimiento para la distribución del agua potable. Con el caudal máximo horario de 3.16 L/s, se puede obtener el diámetro de diseño

con la ecuación de Manning. La pendiente está dada por la topografía del terreno, con valores entre 2% y 5%, escogiendo 2% como valor de diseño. El material propuesto a utilizar para las tuberías es de plástico PVC con un coeficiente de Manning de 0.009.

$$D = 1.548 \cdot \left(\frac{Q \cdot n}{\sqrt{S_0}} \right)^{3/8}$$

$$D = 1.548 \cdot \left(\frac{0.00315 \frac{m^3}{s} \cdot 0.009}{\sqrt{0.02}} \right)^{3/8}$$

$$D = 0.064 \text{ m}$$

De la ecuación del caudal, se despeja la velocidad y se obtiene:

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

$$v = \frac{0.0033 \frac{m^3}{s}}{\pi \cdot \frac{(0.064 \text{ m})^2}{4}}$$

$$v = 1.00 \text{ m/s}$$

La velocidad está en el rango de [1-2] m/s, superando el mínimo de limpieza que es 0.6 m/s. Con esto, se determina el caudal por ramal Q_i , dado por la ecuación siguiente, y para el área de la tubería escogida.

$$Q = v \cdot A$$

Para las tuberías primarias y secundarias se escogen tuberías de 4 pulgadas, de manera que el caudal queda:

$$Q = 1.0 \frac{m}{s} \cdot 0.00811 \text{ m}^2$$

$$Q = 0.00821 \frac{m^3}{s}$$

Tabla 37: Parámetros hidráulicos para distribución de agua potable al usuario [Proaño J.S. 2022].

Tubería primaria						
D (in)	D (cm)	A (m ²)	PM (m)	Rh (m)	v (m/s)	Q (m ³ /s)
4	10.16	0.00811	0.319	0.025	1.01	0.008207

Tubería secundaria						
D (in)	D (cm)	A (m ²)	PM (m)	Rh (m)	v (m/s)	Q (m ³ /s)
2	5.08	0.00203	0.160	0.013	1.01	0.002052

El ramal principal viene desde la planta de tratamiento haciendo un recorrido de 2144 metros, según la planeación en AutoCAD. Existe un punto de conexión por residencia para conectarlas con la tubería principal. A este tramo se le asigna el nombre de ramal secundario, y en total tiene una longitud aproximada de 10 metros para cada residencia. Por ende, en total serían aproximadamente 600 metros.

Para determinar el número de ramales en el sistema se divide el caudal total necesitado para el caudal de capacidad máximo de cada tubería para cada ramal.

$$\#Ramales = \frac{Q_{Diseño}}{Q_i}$$

$$\#Ramales = \frac{0.00316 \frac{m^3}{s}}{0.0080 \frac{m^3}{s}} = 1 \text{ ramal}$$

Tabla 38: Distribución de tuberías para agua potable [Proaño J.S. 2022].

Distribución de tuberías		
Longitud tubería primaria	2144	m
Longitud tubería secundaria	600	m
Número de ramales Q1	1.00	u
Número de ramales Q2	1.00	u

Esto quiere decir que hay 1 tubería para el ramal principal y 1 tubería para el ramal secundario.

Debido a que la distribución es por gravedad, no es necesario un sistema de bombeo de mucha potencia. Para encontrar la potencia, primero se determina la energía (h_A) necesaria

que debe suministrar la estación de bombeo, considerando las pérdidas de energía por fricción en la red de distribución, según los diámetros y longitudes establecidos anteriormente.

$$\Delta E = \Delta h + \frac{\Delta v^2}{2g} + \frac{\Delta P}{\gamma}$$

$$h_A = f \times \frac{L}{D} \times \frac{\Delta v^2}{2g}$$

$$h_A = 0.045 \times \frac{2144 \text{ m}}{0.1016 \text{ m}} \times \frac{(1.0 \text{ m/s})^2}{2(9.81 \text{ m/s}^2)}$$

$$h_A = 49.59 \text{ m}$$

$$h_L = \frac{10.294 \times n^2 \times L \times Q^2}{d^{5.33}}$$

$$h_L = \frac{10.294 \times 0.009^2 \times 2144 \text{ m} \times 0.00316 \text{ m}^3/\text{s}^2}{0.1016 \text{ m}^{5.33}}$$

$$h_L = 3.5 \text{ m}$$

Sumando los 3 componentes se tiene un total de 76.43 metros para el bombeo, por lo que la potencia requerida es de:

$$P = \gamma \cdot h_T \cdot Q$$

$$P = 9.81 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 76.43 \text{ m} \cdot 0.00316 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$P = 1.08 \text{ kW}$$

Tabla 39: Potencia de bombas para sistemas de distribución [Proaño J.S. 2022].

Parámetro	<i>D</i>	<i>L</i>	<i>f</i>	<i>v</i>	$\Delta h + \Delta P + \Delta v$	<i>h_A</i>	<i>h_L</i>	<i>h_{total}</i>	<i>P</i>
Unidades	m	m	-	m/s	m	m	m	m	kW
Primaria	0.10	2144	0.05	1.01	23.34	49.59	3.50	76.43	2.37
Secundaria	0.10	600	0.05	1.01	23.34	13.88	0.98	38.20	1.18

Se necesita entonces una potencia de 2.37 kilovatios para el ramal principal, y una potencia de 1.18 kilovatios para el ramal secundario. Dividiendo cada potencia requerida, para la potencia de la bomba a utilizar, se encuentra el número de bombas:



Figura 45: Bomba de agua centrífuga 1.25"X1" 1.5 HP para agua limpia y líquidos no corrosivos [HYUNDAI 82HYCPM180M].

$$\#bombas = \frac{\text{Potencia total requerida}}{\text{Potencia bomba}} + 1$$

$$\# bombas = \frac{2.37}{1.5} + 1$$

$$\# bombas = 3$$

Para el sistema de agua cruda (que sirve para incendios, agricultura y ganadería), se distribuye el agua de manera similar. El proceso de cálculo es el mismo, pero ahora con el caudal de incendios modificado en la sección anterior. Los datos utilizados para el cálculo son los siguientes:

Tabla 40: Condiciones de cálculo para distribución de agua cruda [Proaño J.S. 2022].

Condiciones de cálculo		
Qd	0.10	m ³ /s
n	0.009	-
So	1%	-
D	0.265	m
A	0.055	m ²
v	1.82	m/s

Con estos datos se escoge un diámetro de tubería, en este caso de 12 pulgadas:

Tabla 41: Parámetros hidráulicos de distribución de agua cruda [Proaño J.S. 2022].

Tubería primaria						
D (in)	D (cm)	A (m²)	PM (m)	Rh (m)	v (m/s)	Q (m³/s)
12	30.48	0.073	0.958	0.076	1.82	0.133

Como el caudal dentro de la tubería puede ser de hasta 133 L/s, solo es necesario 1 ramal para satisfacer la demanda de 100 L/s.

Tabla 42: Distribución de tuberías para agua cruda [Proaño J.S. 2022].

Distribución de tuberías		
Longitud tubería primaria	2144	m
Número de ramales Q1	0.76	u

Como se cuenta con un tanque elevado, no se considera una bomba para mantener la presión.

De igual manera se obtiene la distribución de tuberías para la recolección de aguas residuales, resultando en las siguientes tablas:

Tabla 43: Condiciones de cálculo para distribución de aguas residuales [Proaño J.S. 2022].

Condiciones de cálculo		
Qd	0.01	m ³ /s
n	0.009	-
So	1.5%	-
D	0.086	m
A	0.0058	m ²
v	1.05	m/s

El diámetro de 8 pulgadas se escoge como el estándar para evitar taponamientos en el trayecto de la tubería.

Tabla 44: Parámetros hidráulicos de distribución de aguas residuales [Proaño J.S. 2022].

Tubería primaria						
D (in)	D (cm)	A (m ²)	PM (m)	Rh (m)	v (m/s)	Q (m ³ /s)
8	20.32	0.032	0.638	0.051	1.05	0.034

Tabla 45: Distribución de tuberías para aguas residuales [Proaño J.S. 2022].

Distribución de tuberías		
Longitud tubería primaria	2144	m
Número de ramales Q1	0.18	u

Los tres sistemas tienen la misma extensión longitudinal por lo que se propone realizar su instalación bajo la zona vial según la zona resaltada en rosado en el siguiente esquema.



Figura 46: Esquema referencial de acomodación de tuberías de conducción de los sistemas propuestos.

5.10 Sistema de alcantarillado y manejo de residuos

Para zonas rurales o de bajo caudal, resulta conveniente únicamente tratar el agua residual con un sistema de tres etapas, para este proyecto se presentan los sistemas a utilizar en el siguiente orden para aguas grises y negras:

1. Pretratamiento

- a. Rejillas de limpieza de barra manual: evita el paso de materiales y partículas grandes.

2. Tratamiento primario

- a. Trampa de grasas: maleza acuática (lechuguines) con crecimiento controlado para aguas grises y negras, que posteriormente es usado como material orgánico para fertilización.
- b. Sedimentación: se separan los sólidos suspendidos de los líquidos mediante una decantación por gravedad (desarenador).

3. Tratamiento secundario:

- a. Infiltración: proceso en el cual el agua es infiltrada al suelo para que con la materia orgánica biodegradable sobrante aporte en nutrientes al suelo. Se realiza mediante zanjas de infiltración, a una ubicación mínima de 30 metros de la fuente más cercana de agua, en este caso, del río.

Cabe resaltar que el agua cruda no es tratada como agua residual posterior a su utilización. Esto debido a que su uso es para riego, consumo ganadero, y para el sistema contra incendios. Casos en los cuales, por el propio ciclo del agua, es devuelta al ambiente.

5.10.1 Pretratamiento de aguas residuales

Se considera una rejilla de desbaste de limpieza manual para el pretratamiento de aguas residuales. Las aberturas de las rejillas por lo general son de 25 milímetros (Terrence J. 1999), por lo que se considera una malla de acero galvanizado con dicha dimensión de sus agujeros. El flujo de aguas residuales es igual al flujo promedio diario debido a que las pérdidas en el sistema son mínimas. Este sistema se considera de la siguiente manera:

- Base del canal (B) de 40 centímetros para permitir acumulación de residuo y basura.
- Altura del canal (Y_N) de 20 centímetros para permitir acumulación de basura.
- Pendiente de 2% (S_o).
- Superficie de concreto ($n = 0.015$).
- Caudal residual promedio de 1.18 L/s.

Bajo estos parámetros se comprueba que permita el paso del caudal de diseño, con la teoría de canales abiertos:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot R_H^{2/3} \cdot \sqrt{S_o} \cdot A$$

$$A = B \cdot Y_N$$

$$A = 0.4 \text{ m} \cdot 0.2 \text{ m}$$

$$A = 0.080 \text{ m}^2$$

Para el radio hidráulico se encuentra:

$$PM = 2 \cdot Y_N + B$$

$$PM = 2 \times 0.2 + 0.4$$

$$PM = 0.80 \text{ m}$$

$$R_H = \frac{A}{PM}$$

$$R_H = \frac{0.080 \text{ m}^2}{0.8 \text{ m}}$$

$$R_H = 0.10 \text{ m}$$

Se reemplazan los valores y se resuelve:

$$Q = \frac{1}{0.015} \cdot (0.1 \text{ m})^{2/3} \cdot \sqrt{0.01} \cdot 0.08 \text{ m}^2$$

$$Q = 114.9 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

El caudal de diseño es menor al caudal que puede pasar por el canal. No está sobredimensionado debido a que el tamaño permite retener basuras para luego facilitar su limpieza y, este canal considera las dimensiones mencionadas para controlar el desborde del material sólido y taponamiento de las rejillas. La velocidad de flujo está dada por:

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

$$v = \frac{0.001189 \frac{m^3}{s}}{0.00116 m^2}$$

$$v = 1.02 \frac{m}{s}$$

El canal para el pretratamiento es el siguiente:

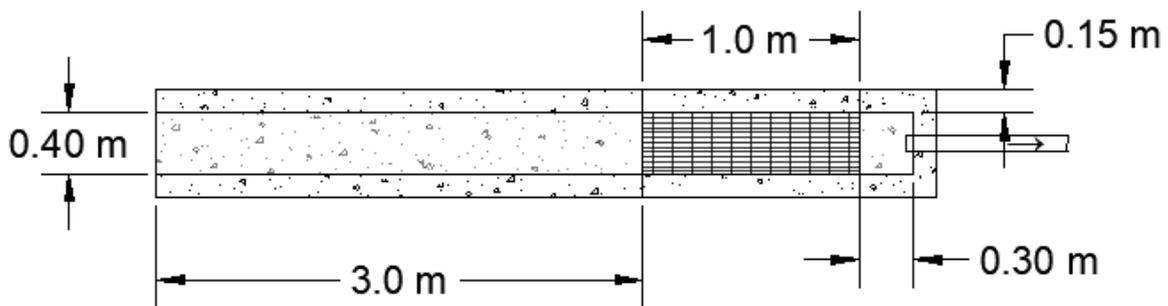


Figura 47: Sistema de pretratamiento de aguas residuales, vista superior [Proaño J.S. 2022].

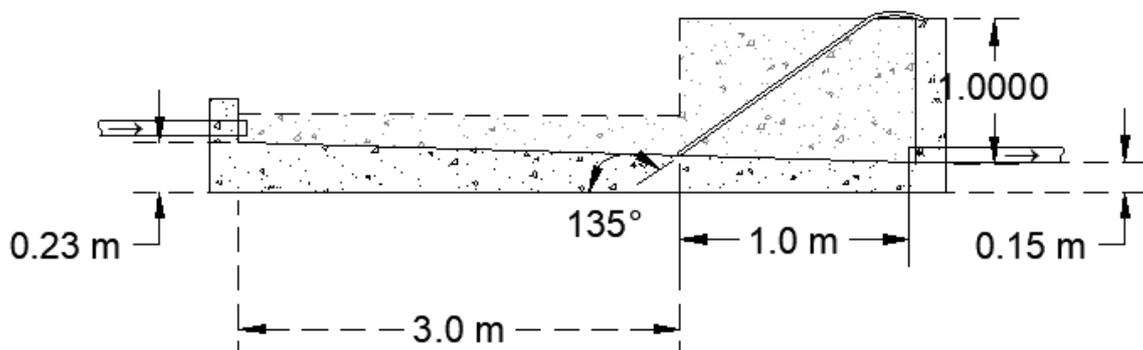


Figura 48: Sistema de pretratamiento de aguas residuales, vista lateral [Proaño J.S. 2022].

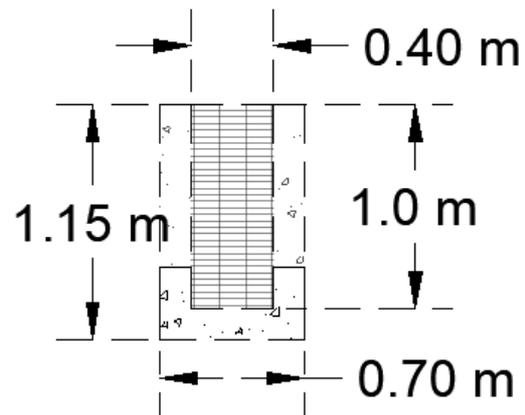


Figura 49: Sistema de pretratamiento de aguas residuales, vista transversal [Proaño J.S. 2022].

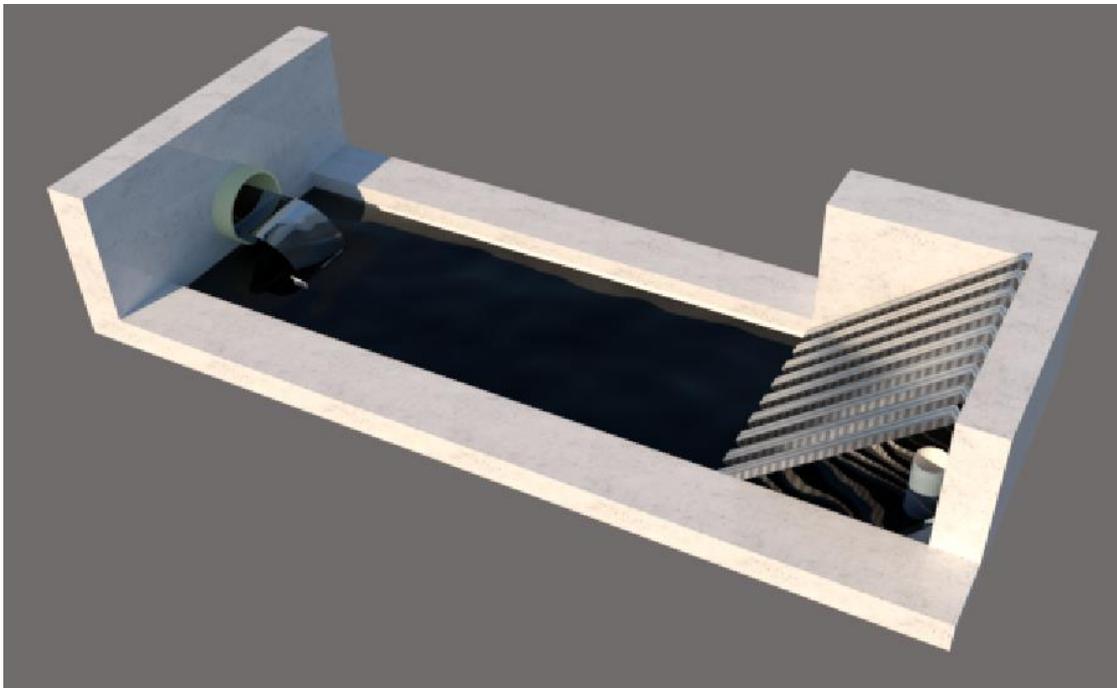


Figura 50: Modelo 3D referencial de estructura de pretratamiento de aguas residuales.

5.10.2 Tratamiento primario

Para la trampa de grasas, se diseña un espacio que almacene el agua suficiente para que se desarrolle el lechuguín. Esta trampa de grasa será un solo bloque constructivo en conjunto con el desarenador, de manera que ambos funcionan al tiempo. Se plantea el diseño del desarenador y se incorpora una zona para el crecimiento de la maleza de la siguiente manera:

- Se expande la cámara de quietamiento a manera de que sea también la trampa de grasas.
- Se considera el almacenamiento de lodos con un valor de profundidad recomendado de 2.00 metros en su punto más bajo.
- La estructura es de hormigón armado.

El desarenador de aguas residuales va a funcionar para los mismos parámetros del desarenador de agua potable, a excepción del caudal. Por lo tanto, el método de diseño y cálculo es básicamente el mismo. Bajo esas consideraciones se obtiene un diseño como se muestra:

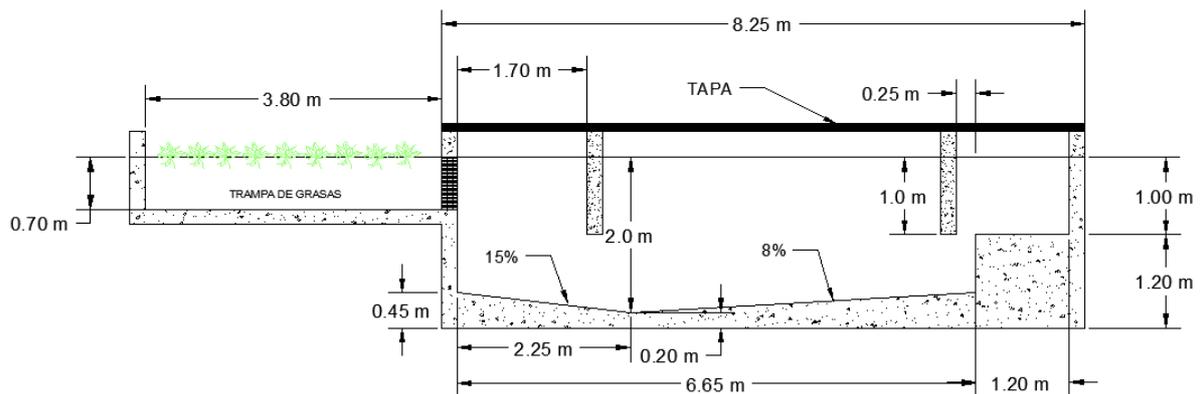


Figura 51: Esquema desarenador de aguas residuales vista lateral [Proaño J.S. 2022].

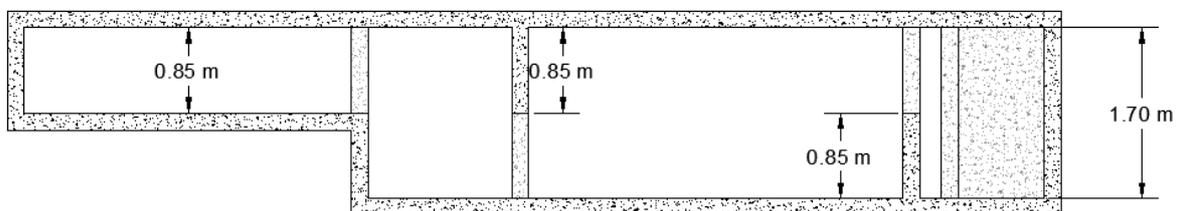


Figura 52: Esquema desarenador de aguas residuales vista superior [Proaño J.S. 2022].

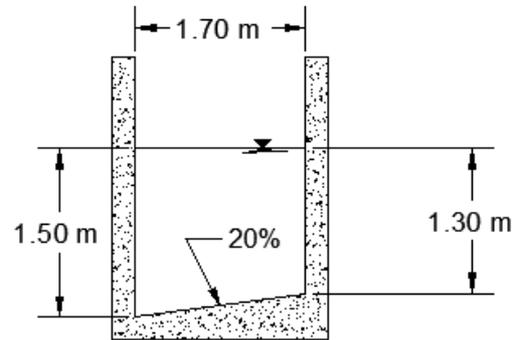


Figura 53: Esquema desarenador de aguas residuales vista transversal [Proaño J.S. 2022].

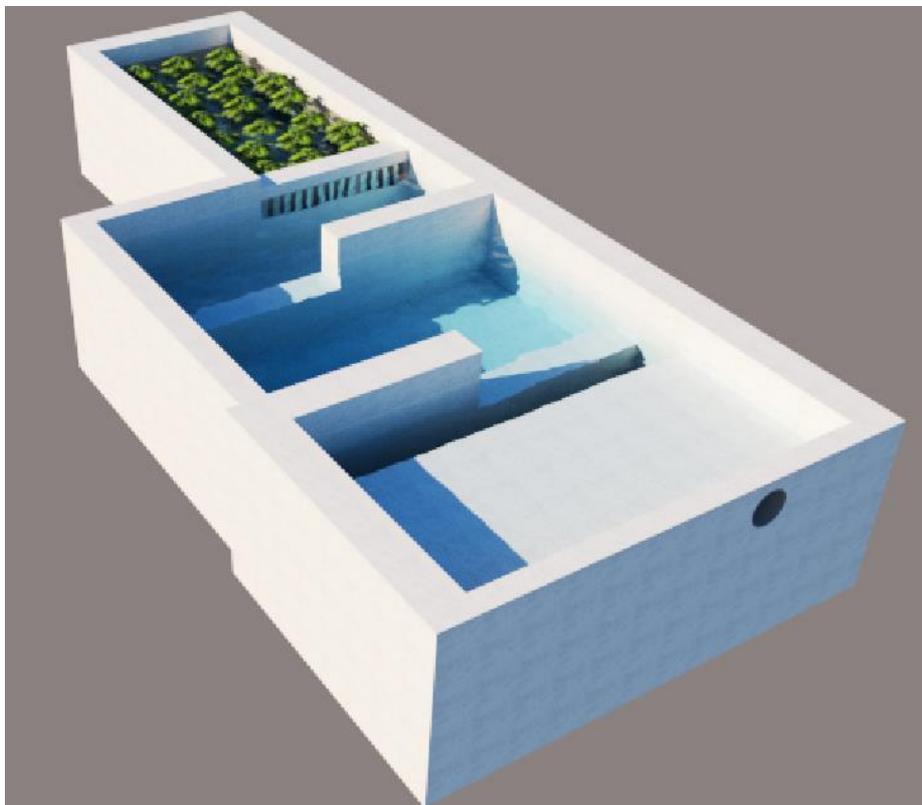


Figura 54: Modelo 3D referencial de trampa de grasas y desarenador para aguas residuales [J.S. Proaño].

5.10.3 Tratamiento secundario

El tratamiento secundario consiste en la conducción del agua para su infiltración en zanjas, de manera que sus propiedades biológicas sean aprovechadas para la fertilización del suelo. Hay ciertas restricciones que deben acatarse para el correcto manejo de las aguas residuales:

- El espacio para el tratamiento de toda el agua residual debe ser suficiente para el volumen producido por cada una de las viviendas.
- Las aguas subterráneas deben encontrarse por lo menos 2 metros debajo del fondo propuesto.
- Los tanques sépticos deben ser impermeables y herméticos.
- Se debe garantizar un mantenimiento frecuente y adecuado para el correcto funcionamiento del sistema.
- El sistema de tratamiento no debe ser distorsionado, evitando los lavados por excesos de agua.

Las zanjas se calculan en base a los siguientes parámetros:

- Ancho mínimo de la zanja de 40 centímetros.
- Ancho máximo de la zanja de 90 centímetros.
- Construcción de las zanjas a 30 metros de cualquier cuerpo de agua ya sea subterráneo o superficial.
- Velocidad de infiltración de 0.028 cm/s.

El área de infiltración se calcula como:

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

$$A = \frac{0.001183 \frac{m^3}{s}}{0.00028 \frac{m}{s}}$$

$$A = 4.30 m^2$$

Se consideran dos factores: para aguas lluvias 1.2 por el clima lluvioso del páramo, y para el revestimiento de la zanja 0.1 siendo de revestimiento común.

Tabla 46: Factores de corrección de zanjas [Proaño J.S. 2022].

Efecto de lluvias	F_p	1.2
Revestimiento	r_c	0.1

La superficie de terreno necesitado se calcula como:

$$A_c = \frac{A'_c}{1 - r_c}$$

$$A'_c = A \cdot F_p$$

$$A'_c = 4.30 \text{ m}^2 \cdot 1.2$$

$$A'_c = 5.11 \text{ m}^2$$

$$A_c = \frac{5.11 \text{ m}^2}{1 - 0.1}$$

$$A_c = 5.68 \text{ m}^2$$

Se usa un valor típico de ancho de zanja de 50 centímetros y una profundidad del material filtrante de 60 centímetros.

Para encontrar el número de zanjas necesarias, se utiliza el perímetro efectivo, es decir las paredes laterales de la zanja más el fondo, así como se muestra:

$$Lzi = \frac{A}{Pe}$$

$$Pe = 2h + b$$

$$Pe = 2(0.60\text{m}) + 0.50 \text{ m}$$

$$Pe = 1.70 \text{ m}$$

$$Lzi = \frac{4.30 \text{ m}^2}{1.70 \text{ m}}$$

$$Lzi = 2.51 \text{ m}$$

La separación entre zanjas se calcula como:

$$L_s = \frac{A_c}{P_e}$$

$$L_s = \frac{5.68 \text{ m}^2}{1.70 \text{ m}}$$

$$L_s = 2.30 \text{ m}$$

La longitud total se calcula como:

$$L_{zt} = \frac{A_c}{b}$$

$$L_{zt} = \frac{5.68 \text{ m}^2}{0.50 \text{ m}}$$

$$L_{zt} = 11.40 \text{ m}$$

Se aproxima este valor a 12 metros, y el volumen de infiltración se calcula lógicamente como la multiplicación entre largo, ancho, y alto de la zanja, considerando a la altura como la profundidad del material filtrante más una distancia de 10 centímetros para colocación de paja, aserrín, u hojas.

$$V = L_{zt} \cdot b \cdot h_t$$

$$V = 12 \text{ m} \cdot 0.50 \text{ m} \cdot 0.70 \text{ m}$$

$$V = 4.2 \text{ m}^3$$

Dividiendo la longitud de cada zanja para la longitud total, se encuentra el número de zanjas.

Es recomendable colocar 2 zanjas adicionales como reserva.

$$N_z = \frac{L_{zt}}{L_{zi}}$$

$$N_z = \frac{12 \text{ m}}{2.65 \text{ m}}$$

$$N_z = 5 \text{ zanjas}$$

$$N_{z_{real}} = N_z + N_{z_{reserva}}$$

$$N_{z_{real}} = 7 \text{ zanjas}$$

Se presenta un esquema de las zanjas con sus unidades en metros:

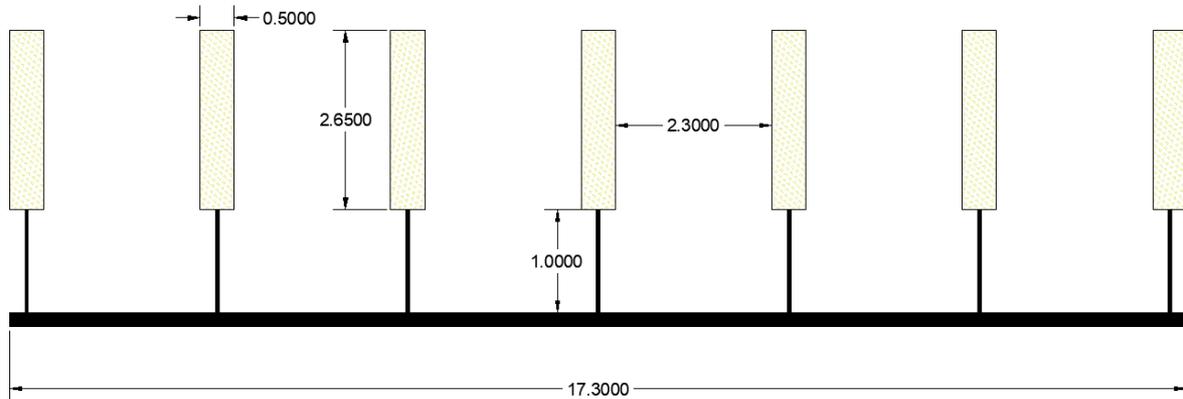


Figura 55: Distribución de zanjas vista superior [Proaño J.S. 2022].

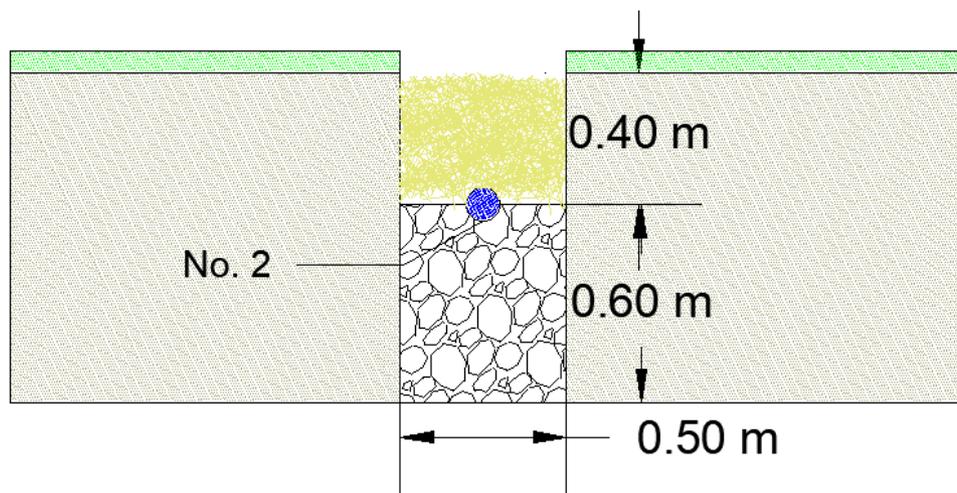


Figura 56: Distribución de zanjas vista transversal [Proaño J.S. 2022].

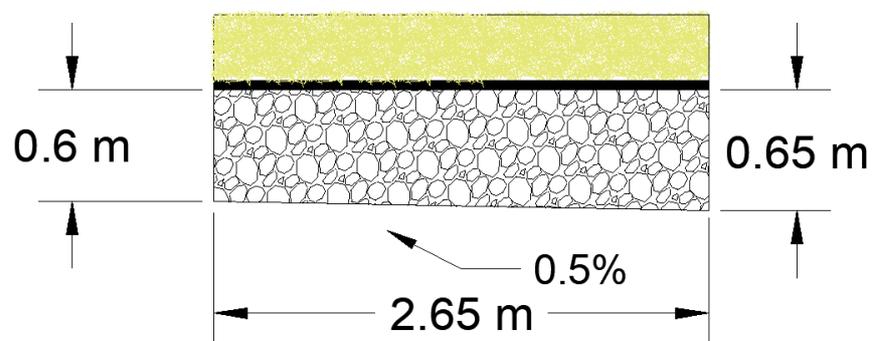


Figura 57: Distribución de zanjas vista lateral [Proaño J.S. 2022].

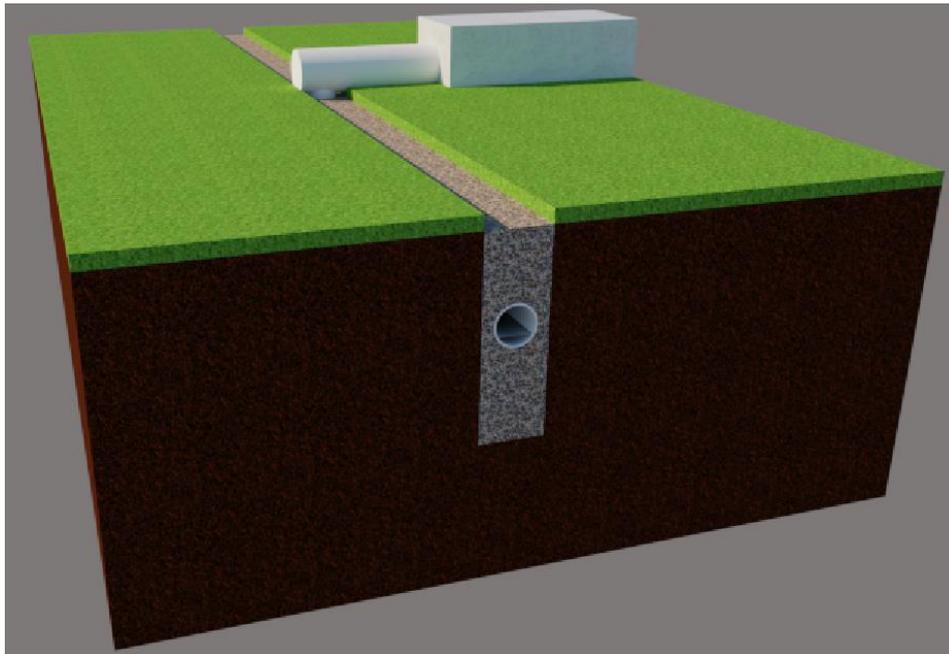


Figura 58: Modelo 3D referencial de zanja de infiltración de aguas residuales [Proaño J.S. 2022].

CAPÍTULO 6 - PRESUPUESTO

Para el presupuesto se considera el desglose de costos mediante un análisis de precios unitarios de los rubros generales del proyecto. Se consideran los principales rubros para la construcción de cada uno de los sistemas e infraestructuras diseñadas, resultando en un presupuesto referencial clase 5. Este capítulo se divide en: costos de construcción o inversión inicial, costos de operación, y la tarifa al usuario.

6.1 Inversión inicial

Con los diseños realizados se hace una cuantificación del material a utilizar considerando los siguientes parámetros generales:

- La mayoría de las estructuras serán de hormigón armado de 24 MPa
- Se puede sustituir el hormigón armado por acero si es que se utiliza un recubrimiento de pintura impermeable con el fin de evitar la corrosión y el deterioro del material.
- Se recomienda que las estaciones de tratamiento de agua potable y agua residual sean cubiertas, y restringidas al paso. De esta manera los animales no interfieran con la operación de los equipos, y solo entra el personal asignado.
- Las tuberías son de material plástico PVC, y varían en su tamaño.
- Las excavaciones y la colocación de tubería son los rubros más importantes y representativos del presupuesto, junto con el tanque cuyo precio es asumido.
- El presupuesto referencial se divide para cada una de las obras a realizar, teniendo un subtotal de cada una.

Se presenta el análisis de precios unitarios en la siguiente tabla:

Tabla 47: Análisis de precios unitarios por obra a construir [Proaño J.S. 2022].

ID	Rubro	Cantidad	Unidades	C.U. (\$/u)	C.T. (\$)
1	Obra de Captación Superficial				
	Hormigón armado f'c 24 MPa Preparado en obra	1.51	m3	105.69	159.06
	Tubería No. 4	1.00	m	11.22	11.22
	Excavación a mano	1.51	m3	9.75	14.67
					184.96
2	Tubería de aducción				
	Tubería No. 4	15.00	m	11.22	168.30
	Cama de grava 30 cm	0.68	m3	20.83	14.06
	Excavación a mano	1.80	m3	9.75	17.55
					199.91
3	Desarenador				
	Hormigón armado f'c 24 MPa premezclado	19.72	m3	111.19	2192.14
	Excavación a máquina	54.84	m3	5.50	301.61
					2493.75
4	Filtro lento modificado				
	Hormigón armado f'c 24 MPa premezclado	9.58	m3	111.19	1064.76
	Arena sílica 18x40	7.56	m3	26.87	203.14
	Grava 1/4 x 1/8" Cuarzo	4.20	m3	20.83	87.49
	Tubería de desagüe No.4	42.00	m	11.22	471.24
	Excavación a máquina	30.46	m3	5.50	167.55
					1994.17
5	Cámara de desinfección				
	Hormigón armado f'c 24 MPa premezclado	1.62	m3	111.19	180.13
	Tubería de desagüe No.4	2.00	m	11.22	22.44
	Excavación a máquina	3.38	m3	5.50	18.56
					221.13
6	Tuberías de conducción agua potable				
	Tubería No. 4	2144.00	m	11.22	24055.68
	Tubería No. 4	600	m	11.22	6732.00
	Cama de grava 15 cm	48.24	m3	20.83	1004.84
	Excavación a máquina	3108.80	m3	5.50	17098.40
					48890.92
7	Tanque y Cisternas (6 unidades)				
	Hormigón armado f'c 24 MPa premezclado	28.20	m3	111.19	3135.56
	Tanque	1.00	u	10000.00	10000.00
	Excavación a máquina	264.00	m3	5.50	1452.00
					14587.56
8	Sistema contra incendios				
	Tubería No. 12	2144.00	m	61.30	131427.20
	Cama de grava 30 cm	96.48	m3	20.83	2009.68
	Excavación a máquina	3108.80	m3	5.50	17098.40

150535.28

9	Bombeo				
	Bombas para cisternas	1.00	u	145.99	145.99
	Bombas distribución	6.00	u	145.99	875.94
					1021.93
10	Alcantarillado aguas residuales				
	Tubería No. 8	2423.00	m	26.42	64015.66
	Cama de grava 30 cm	218.07	m3	20.83	4542.40
	Excavación	605.75	m3	5.50	3331.63
					71889.68
11	Pretratamiento aguas residuales				
	Malla metálica 1plg	5.00	m2	1.10	5.48
	Pintura epoxi	3.00	m2	6.99	20.97
	Hormigón armado f'c 24 MPa	6.00	m3	105.69	634.14
					660.59
12	Desarenador aguas residuales				
	Hormigón armado f'c 24 MPa premezclado	11.495	m3	111.19	1278.13
	Tubería de desagüe No.4	3.00	m	11.22	33.66
	Pintura epoxi	49.18	m2	6.99	343.79
	Excavación a máquina	43.94	m3	21.60	949.05
					2604.63
13	Zanjas de infiltración				
	Excavación de zanjas	7.95	m3	9.75	77.52
	Tubería No. 4	11.36	m	11.22	127.44
	Material filtrante	3.41	m3	10.16	34.62
					239.58

TOTAL	\$ 295 524.08
--------------	---------------

El total del proyecto resulta en la cantidad de \$ 295 524.08 USD, como costo inicial del proyecto. Se estima que la exactitud del costo total sea de -10% a 30%. Se propone diferir el costo total en un lapso de 10 años, para que cada una de las 60 familias pague \$ 41.05 USD al mes. Después de los 10 años solo se cobra el costo de mantenimiento.

6.2 Costo de operación y mantenimiento

La operación y mantenimiento considera el costo de los equipos a reparar según su periodo de diseño (ya que es el tiempo típico de duración de los equipos), la utilización de insumos de desinfección, y las jornadas de mantenimiento y limpieza de las estaciones de tratamiento.

Los insumos de desinfección para agua potable son únicamente las pastillas de cloro. La limpieza del desarenador debe realizarse aproximadamente cada 4 meses, revisando mensualmente que su funcionamiento sea correcto. El filtro debe ser revisado dos veces al año.

Se sugiere que limpieza de la zona de pretratamiento y la trampa de grasas se realice semanalmente. El personal de limpieza consta de tres miembros (los cuales pueden ser pertenecientes a la comunidad). La estación de tratamiento de aguas residuales es limpiada en un tiempo aproximado de 2 horas por semana entre 3 personas, es decir 312 horas al año. Cada uno de ellos, debe usar su propio equipo de protección personal, incluyendo: guantes de caucho, mascarillas, visores, botas, trajes de caucho, etc.

Adicionalmente se incluye el uso de equipos de limpieza, como jabones, escobas, rastrillos, mangueras, palas, carretillas, fundas de basura, etc.

Dicho equipo de protección y de limpieza debe ser reemplazado cuando esté desgastado o no cumpla con su función. Esto se resume en el siguiente análisis de precios anuales de operación:

Tabla 48: Desglose de costos de operación y mantenimiento [Proaño J.S. 2022].

Rubro	Cantidad	Unidad	C.U. (\$/u)	C.T. (\$/año)
Pastillas de cloro	103.16	kg	7.88	812.88
Jabón desinfectante desengrasante biodegradable	12	gal	11.36	136.32
Guantes de caucho industrial	18	u	36.00	648.00
Mascarillas	55	u	1.00	55.00
Visores	55	u	1.00	55.00
Rastrillo y escobas	12	u	12.00	144.00
Botas	12	u	15.00	180.00
Trajes de caucho	6	u	25.00	150.00
Mano de obra	312	hr/año	10.00	3120.00
Total				\$ 5 301.20

El costo de operación es de 5 301.20 USD, que al dividirse por 12 meses y por las 60 familias, resulta en 7.36 USD por familia al mes.

6.3 Tarifa por consumo

En base al costo inicial y al costo anual de mantenimiento se calcula una tarifa para el usuario dependiendo del año. Esta tarifa estará sujeta al valor real de operación que será variable cada mes dependiendo de los insumos necesitados reales. Sin embargo, se estima un costo según la siguiente tabla:

Tabla 49: Costo a pagar por mes por familia a lo largo del periodo de 30 años [Proaño J.S. 2022].

Año	Costo Inicial	Costo de operación	Costo total al mes
2030	41.05	7.36	48.41
2032	41.05	7.36	48.41
2034	41.05	7.36	48.41
2036	41.05	7.36	48.41
2038	41.05	7.36	48.41
2040	41.05	7.36	48.41
2042		7.36	7.36
2044		7.36	7.36
2046		7.36	7.36
2048		7.36	7.36
2050		7.36	7.36
2052		7.36	7.36
2054		7.36	7.36
2056		7.36	7.36
2058		7.36	7.36
2060		7.36	7.36

Es importante comparar el costo mensual que usualmente paga una familia promedio por agua potable y alcantarillado en el país o zona cercana al proyecto, con el valor obtenido del presupuesto, con el objetivo de analizar la viabilidad económica. En el caso de Ecuador los 27 m³ con un costo promedio mensual de \$ 0.84 USD por m³ (Etapa EP. 2022), resulta en \$ 22.68 USD al mes. Comparando el valor de \$ 48.41 USD por 10 años y luego de los 10 años solo \$ 7.36 USD, este proyecto sí resulta viable en términos económicos.

CAPÍTULO 7 - RESULTADOS

7.1 Utilización de áreas

El tamaño de las infraestructuras está relacionado directamente con el impacto ambiental sobre el ecosistema en el cual se encuentra el proyecto. Entre más área se ocupe, mayor es el efecto adverso sobre la flora, fauna, y recursos provistos por el ecosistema. Por tal razón, se evalúa la utilización del área de cada infraestructura en los diferentes lotes en el proyecto, para obtener así un porcentaje total de utilización.

Tabla 50: Utilización de área por infraestructura [Proaño J.S. 2022].

Infraestructura	Área de invasión en planta [m2]	Afectación principal	Ubicación en lotes	Área de lotes [Ha]	% Utilización
<i>Obra de Captación Superficial</i>	8	Riachuelo	24	60.00	0.0013%
<i>Tubería de aducción</i>	1.5	Riachuelo	24	60.00	0.0003%
<i>Desarenador</i>	73	Áreas verdes	24	60.00	0.0122%
<i>Filtro lento modificado</i>	70	Áreas verdes	24	60.00	0.0117%
<i>Cámara de desinfección</i>	10.5	Áreas verdes	24	60.00	0.0018%
<i>Tuberías de conducción agua potable</i>	217.8	Urbanización	23	34.75	0.0627%
<i>Sistema contra incendios</i>	217.8	Urbanización	23	34.75	0.0627%
<i>Cisternas (6 unidades) y Tanque</i>	22	Urbanización	23	34.75	0.0063%
<i>Bombeo</i>	5	Áreas verdes	23	34.75	0.0014%
<i>Alcantarillado aguas residuales</i>	217.8	Áreas verdes	23	34.75	0.0627%
<i>Pretratamiento aguas residuales</i>	6	Áreas verdes	22	18.46	0.0033%
<i>Desarenador aguas residuales</i>	42	Áreas verdes	22	18.46	0.0228%
<i>Zanjas de infiltración</i>	46	Contaminación	22	18.46	0.0249%

Sumando las áreas en los lotes respectivos 22, 23, y 24, se obtiene el porcentaje total de utilización de áreas para infraestructura hidráulica y sanitaria, como se muestra:

Tabla 51: Resumen de utilización de áreas para infraestructura hidráulica y sanitaria [Proaño J.S. 2022].

% Utilización	Ubicación
0.05%	Lote 22
0.20%	Lote 23
0.03%	Lote 24

Un total del 0.27% del área total del terreno es adecuado en términos del impacto por utilización de áreas. La cantidad de infraestructura es poca, así como sus dimensiones, pues la demanda de servicios no exige una utilización mayor de las áreas.

7.2 Evaluación del impacto ambiental

Para analizar si el proyecto cumple con la auto sustentabilidad, es necesario comprobar que la afectación al ecosistema de páramo sea baja y no perjudicial. El impacto ambiental producido por el proyecto se cuantifica de acuerdo con una escala de calificación del 0 al 5, con el objetivo de valorar el efecto de la construcción de cada infraestructura en el ambiente. Esta escala considera los siguientes criterios:

Tabla 52: Escala de evaluación para impacto ambiental [Proaño J.S. 2022].

Escala de evaluación		Descripción
0	Sin impacto	Sin daños relevantes, ni procesos invasivos, ni contaminación.
1	Impacto mínimo	Sin procesos invasivos, poco daño al ambiente, no hay explotación de recursos, áreas con alteración mínima.
2	Impacto bajo	Procesos invasivos leves, daño al ambiente bajo, no hay explotación de recursos, áreas con alteración baja.
3	Impacto moderado	Procesos poco invasivos, daño de plantas, intrusión baja, perturbaciones ambientales, daño de áreas verdes, no hay daño al hábitat de animales, áreas medianas y pequeñas.
4	Impacto alto	Procesos invasivos, retiro de plantas, poca intrusión a ecosistemas, daño de áreas verdes, afectación a animales, áreas grandes o críticas ambientalmente, explotación de recursos.
5	Impacto máximo	Procesos invasivos, tala de bosque, intrusión de ecosistemas, riesgo de contaminación, daño de suelos, afectación a animales, urbanización, explotación agrícola, áreas grandes o críticas ambientalmente.

Se evalúa cada diseño de la infraestructura en función del impacto que tiene su proceso constructivo, su mantenimiento, su intrusión o impacto en el ambiente directo, y su afectación a largo plazo. Todo esto se muestra en la siguiente tabla, en función de los términos ambientales de la escala anterior:

Tabla 53: Evaluación ambiental de los sistemas e infraestructura propuesta [Proaño J.S 2022].

Infraestructura	Proceso constructivo	Proceso de mantenimiento	Afectación directa al ambiente	Afectación a largo plazo
<i>Obra de Captación Superficial</i>	3	1	5	3
<i>Tubería de aducción</i>	2	1	1	1
<i>Desarenador</i>	3	1	1	1
<i>Filtro lento modificado</i>	3	0	1	1
<i>Cámara de desinfección</i>	2	0	1	0
<i>Tuberías de conducción agua potable</i>	3	0	3	2
<i>Sistema contra incendios</i>	3	0	3	2
<i>Cisternas (6 unidades) y Tanque</i>	1	0	1	1
<i>Bombeo</i>	1	1	0	0
<i>Alcantarillado aguas residuales</i>	3	2	3	2
<i>Pretratamiento aguas residuales</i>	1	2	1	1
<i>Desarenador aguas residuales</i>	3	4	1	1
<i>Zanjas de infiltración</i>	2	3	3	4

Haciendo un promedio del impacto ambiental se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 54: Promedio de impacto ambiental [Proaño J.S. 2022].

Infraestructura	Promedio
<i>Obra de Captación Superficial</i>	3
<i>Tubería de aducción</i>	1.25
<i>Desarenador</i>	1.5
<i>Filtro lento modificado</i>	1.25
<i>Cámara de desinfección</i>	0.75
<i>Tuberías de conducción agua potable</i>	2
<i>Sistema contra incendios</i>	2
<i>Cisternas (6 unidades)</i>	0.75
<i>Bombeo</i>	0.5
<i>Alcantarillado aguas residuales</i>	2.5
<i>Pretratamiento aguas residuales</i>	1.25
<i>Desarenador aguas residuales</i>	2.25
<i>Zanjas de infiltración</i>	3

Basándose en esta tabla, se clasifican dos obras civiles como críticas (captación superficial, y zanjas de infiltración), debido a que en la escala de evaluación ambiental alcanzan el valor de 3 que corresponde a un impacto moderado, siendo el más alto de la evaluación.

7.3 Límites ambientales

Como se menciona anteriormente, el ecosistema puede ser perjudicado bajo la invasión innecesaria del ser humano en el sector. Esto ocurre comúnmente debido a la explotación agrícola, ganadera, y de recursos. Para este proyecto, no se habla en sí del impacto ambiental

producido por los sectores de producción de alimentos, pero sí de las perturbaciones al ciclo natural de vida del páramo y a los recursos naturales, por la necesidad humana.

Para poder establecer límites ambientales es necesario clasificar las áreas críticas con sensibilidad ambiental y, en dichas áreas minimizar el impacto de la construcción y obtención de recursos. Las áreas se clasifican según la siguiente guía de las condiciones actuales:

Tabla 55: Clasificación de áreas críticas ambientalmente [Proaño J.S 2022].

Indicador	Descripción	Referencia
Morado	Áreas de cultivo existentes	
Blanco	Áreas con construcciones menores actuales	
Verde	Áreas sin uso y de impacto menor	
Anaranjado	Áreas sensibles a la explotación	
Rojo	Áreas críticas, extremadamente sensibles	

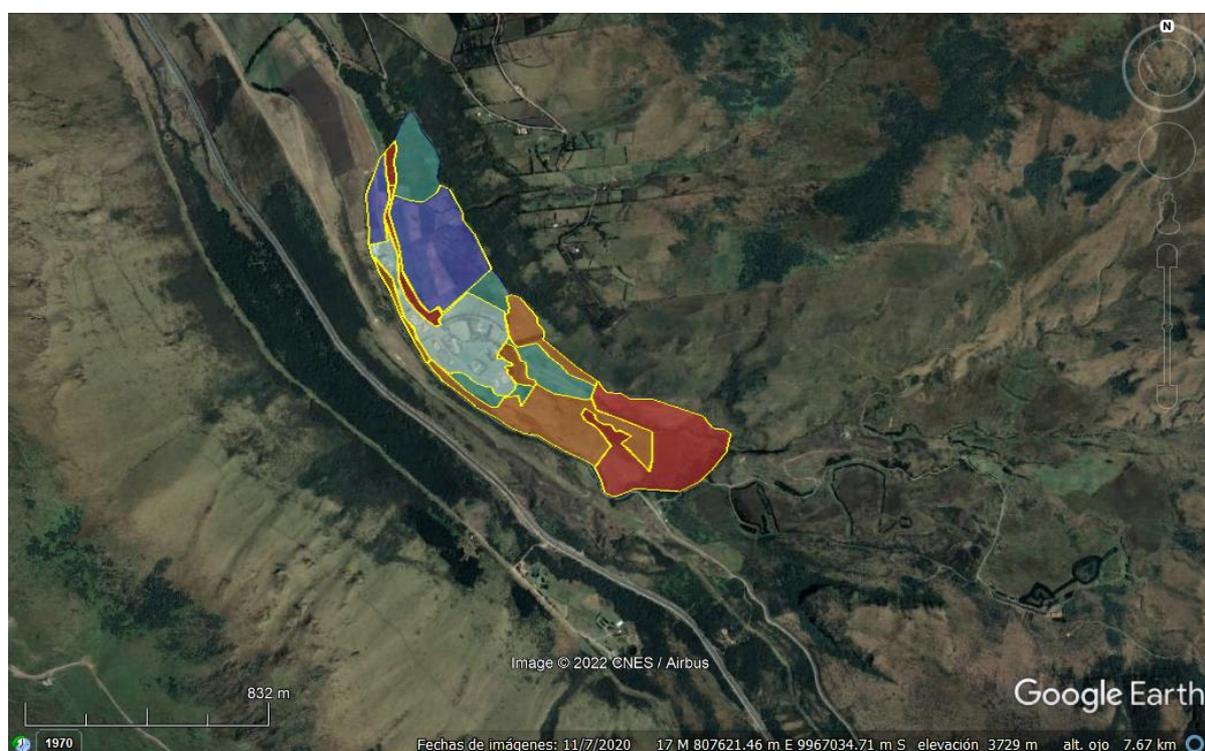


Figura 59: Distribución de áreas críticas del proyecto [Proaño J.S. 2022].

Las zonas óptimas para construcción según este análisis son las áreas de color verde, y blanco. Se recomienda la construcción de viviendas, vías, sistemas subterráneos, y sistemas de tratamiento de agua residual en estas áreas. El sistema de tratamiento de agua potable debe ser construido en la zona roja o anaranjada, garantizando una mayor altura para que el funcionamiento sea por gravedad. La construcción en las zonas roja y anaranjada es aceptable siempre y cuando se sigan las recomendaciones mencionadas en la siguiente sección, especialmente aquellos que involucran la reforestación, reintegración, restauración, y reparación de las afectaciones, se asegura un impacto significativamente menor al ecosistema.

CAPÍTULO 8 – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

El resultado final de este proyecto se evidencia en un programa en el que se detalla el modo y conjunto de medios necesarios para la provisión de recursos básicos. En este caso, mediante la propuesta y diseño de trece infraestructuras para el abastecimiento de agua potable y alcantarillado sanitario de una comunidad autosustentable en tierras de alta sensibilidad ambiental.

Este plan piloto cumple con la realización y presentación de estudios relevantes para el diseño de las infraestructuras, pues parte importante de su contenido es el profundo estudio hidrológico y de fuentes hídricas. Por otro lado, se realiza el estudio de consumo y de calidad del agua en función de las necesidades de la población de diseño. De igual manera se presentan otros estudios complementarios, como el levantamiento topográfico y estudios de suelos.

En base a dichos estudios, se pudo realizar la mejor propuesta para el abastecimiento de agua potable, teniendo como consideración principal el impacto ambiental. Esta propuesta para la provisión de agua potable incluye el diseño de sistemas de captación, purificación y distribución del agua potable a cada uno de los miembros de la comunidad.

Adicionalmente y sobre la marcha del diseño, se propusieron cambios y recomendaciones en función de las necesidades hídricas, las restricciones ambientales, y términos económicos, resultando en la separación del caudal consumido en agua potable y agua cruda, siendo el

agua potable para consumo doméstico, y el agua cruda para la utilización en el sector agrícola, ganadero, y en el sistema contra incendios.

De igual manera, se pudo plantear una propuesta de infraestructura y sistemas para el saneamiento y depuración de aguas residuales. Esto, mediante la distribución y tratamientos respectivos de las aguas residuales. Este sistema cuenta con varios procesos que fueron seleccionados de acuerdo con las circunstancias y requisitos de la población, teniendo en consideración el mínimo impacto ambiental posible.

Finalmente, en este proyecto se realiza un presupuesto referencial para la estimación del costo de la construcción de infraestructura y sistemas diseñados para el abastecimiento de agua potable y saneamiento. Este presupuesto es la representación económica de un plan de abastecimiento que fue realizado en función de un equilibrio social, económico, y ambiental, para sí poder garantizar la auto sustentabilidad de la comunidad.

8.2 Ventajas y desventajas

El diseño propuesto de los sistemas para abastecimiento de agua potable y tratamiento de aguas residuales tiene varias ventajas y unas pocas desventajas. Ambas se presentan como parte de las conclusiones para valorar los efectos del proyecto tanto en los habitantes como en el ambiente.

Ventajas:

- Cada uno de los sistemas está pensado de manera que sea lo mínimo necesario y ocupe el mínimo espacio posible sin perder su funcionalidad.
- Como la cantidad de infraestructura es la mínima, el costo resulta el óptimo.

- El sistema es amigable con el ambiente debido a su bajo impacto ambiental.
- La infraestructura utilizada es poco invasiva y no afecta al hábitat de animales.
- El sistema de agua potable utiliza el 0.30% del agua del río en época de invierno y 0.83% del agua del río en época de verano, lo cual es bajo.
- El sistema de agua cruda utiliza el 1.62% del agua del río en época de invierno y 3.89% del agua del río en época de verano, lo cual es bajo.
- La demanda de agua es menor a la oferta, por lo que se satisface el consumo.
- El sistema construido debe satisfacer a la comunidad durante toda su existencia
- La cantidad de infraestructura es poca, de manera que el impacto por utilización de áreas es muy bajo.
- El costo de inversión total de \$ 295 524.08 USD es el óptimo.
- El mantenimiento de las plantas de tratamiento genera empleo dentro de la misma comunidad.
- El costo de operación de \$ 7.43 USD mensuales por familia es adecuado.

Desventajas

- La construcción de la infraestructura afectará principalmente áreas verdes naturales y cierta sección de pajonales en el trayecto a los sitios de construcción.
- El proceso constructivo considera el desbroce de arbustos y plantas pequeñas que obstruyan las áreas de los sistemas.
- El funcionamiento de las plantas de tratamiento necesita de un mantenimiento constante.

- El mantenimiento de las plantas de tratamiento es un proceso desagradable y puede causar enfermedades al personal de mantenimiento si no está bien capacitado.
- El funcionamiento óptimo de las plantas de tratamiento de aguas residuales está condicionado al uso de productos de limpieza biodegradables.

8.3 Recomendaciones

Para reducir al mínimo el impacto ambiental es necesario que dentro de lo posible se sigan los siguientes parámetros:

- Los habitantes de la comunidad deben hacer uso de productos de limpieza biodegradables y en lo posible no productos industriales.
- La maquinaria de construcción debe ser pequeña o mediana reduciendo la huella en su trayecto por el páramo a las zonas de construcción.
- Realizar estudios ambientales más profundos y específicos para las actividades de impacto ambiental crítico.
- Reducir al mínimo la entrada de maquinaria pesada, especialmente en las zonas marcadas como sensibles.
- Reducir al mínimo el retiro de plantas, pajonales, arbustos y tala de árboles para la construcción de infraestructura.
- En caso de tala de árboles, debe hacerse una reforestación en el sector para las áreas afectadas.
- En caso de retiro de plantas propias del paramo debe realizarse el movimiento de las mismas dentro de la zona del páramo para no afectar al ecosistema.

- Tratar de optimizar el tiempo de impacto por la construcción de obras civiles.
- En caso de alteración del hábitat de animales, debe hacerse la restauración respectiva en el mismo páramo.
- Proteger la estructura para evitar la intrusión de animales (osos, zorros, aves, roedores, etc.).
- Evitar la caza o exterminación de animales.
- No se deben introducir especies animales ni vegetales sin un previo análisis ambiental.

8.4 Dificultades y limitaciones

Debido al concepto de autosustentabilidad y sostenibilidad establecidos anteriormente, hay ciertas limitaciones propias del proyecto. La principal condición es el límite de 300 personas. Esto es una ventaja en cuanto a la utilización de recursos, pero una desventaja para los habitantes ya que es mayor el porcentaje a pagar, especialmente por el costo de inversión. A medida que se desarrollaba cada capítulo se presentaban diferentes limitaciones o problemas. Por ejemplo, la zona del proyecto coincide en el borde de Pichincha y Napo, por lo que la búsqueda de los patrones meteorológicos e hidrológicos es más complicada, y los patrones provistos por el INAMHI no se ajustan exactamente a las condiciones reales. Esto provoca un análisis menos preciso y en consecuencia se calculan ciertos datos que pueden no ser 100% representativos.

Otra limitación del proyecto es la restricción de construcción debido a la sensibilidad ambiental del ecosistema presente, y las regulaciones del IRM. Es claro que, de estar ubicado

el proyecto en una zona menos sensible, el porcentaje de construcción sería mayor y por ende habría una limitación menos a la cual acatar todo el diseño.

De igual manera, uno de los factores que más influyen en el costo, y en consecuencia se vuelve una limitación, es la cantidad de recursos a tratar. Entre más agua se desea tratar, más infraestructura se necesita, lo que resulta en un mayor costo. El caudal contra incendios es bastante grande, hecho que permitió el planteamiento de una alternativa al sistema común de distribución. En dicho sistema, se plantea el agua para incendios como agua cruda, recibiendo solo un tratamiento de sedimentación.

A pesar de haber tenido múltiples limitaciones, restricciones, y condiciones desfavorables, el plan piloto de provisión de recursos básicos está diseñado para cumplir con la satisfacción de la comunidad autosustentable, abasteciendo de sistemas de agua potable y de alcantarillado sanitario, manteniendo el impacto ambiental al mínimo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrango P. (2019). Distribución de caudales de riego para las comunidades de la UCICMA - Imbabura. Obtenido el 17 de agosto de 2022 de: <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA/article/view/1562/1788>
- CISPDR. (2016). Plan Hidráulico Regional de Demarcación Hidrográfica Esmeraldas. Anexo 1 Hidrología.
- CISPDR. (2016). Plan Hidráulico Regional de Demarcación Hidrográfica Napo. Anexo 1 Hidrología.
- Chuncho, C. & Chuncho, G. (2019). Páramos del Ecuador, importancia y afectaciones: Una revisión. *Bosques Latitud Cero*, 9(2), 71–83. Obtenido el 17 de agosto de 2022 de <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/686>
- Quevedo W., Ortiz L., Sardán S., Rivera E. & García D. (2019). Disponibilidad y consumo de agua para la ganadería bovina en el municipio de Mojocoya. Obtenido el 22 de agosto de 2022 de: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2225-87872019000200009
- Proaño M. (2000). Modelo Económico de Desarrollo Sustentable – Aplicación de los principios de la sustentabilidad económica, social, y ambiental a un sistema comunitario de autogestión. Obtenido el 20 de agosto de 2022 de: https://digitalrepository.unm.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=https://www.google.com/&httpsredir=1&article=1023&context=abya_yala
- Bentrup G. (2008). Zonas de amortiguamiento para conservación: lineamientos para diseño de zonas de amortiguamiento, corredores y vías verdes. Informe Técnico Gral. SRS-109. Asheville NC: Departamento de Investigación Sur. 128p. Obtenido el 23 de agosto de 2022 de: https://www.fs.usda.gov/nac/buffers/docs/GTR-SRS-109_Spanish.pdf
- INEC. (2012). Información Ambiental en Hogares. Obtenido el 17 de agosto de 2022 de: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Ambientales2012dic/Presentacion_Comparables_Practicas_Hogares.pdf
- H. Congreso Nacional. (1994). Ley para la Preservación De Zonas de Reserva y Parques Nacionales. Obtenido el 22 de agosto de 2022 de: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/Ley-para-la-Preservacion-de-Zonas-de-Reserva-y-Parques-Nacionales.pdf>
- De la Cruz R. Mena, P., Morales P. Ortiz G. R., Rivadeneira S., Suárez E., J. F. Terán y Velázquez C. (2009). Gente y Ambiente de Páramo: Realidades y Perspectivas en el Ecuador. EcoCiencia-Abya Yala. Quito. Obtenido el 17 de agosto de 2022: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/49247.pdf>

- MeteoRed. (2022). Mapa de temperatura Ecuador. Obtenido el 17 de agosto de 2022 de: <https://www.meteored.com.ec/mapas-meteorologicos/temp2m-vencol.html>
- H. Congreso Nacional. (2004). Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre. Obtenido el 22 de agosto de 2022: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/ley-forestal.pdf>
- MAATEE. (2022). Parque Nacional Cayambe Coca. Obtenido el 22 de agosto de 2022 de: <https://www.ambiente.gob.ec/parque-nacional-cayambe-coca/#:~:text=REGISTRO%20OFICIAL,%3A,Noviembre%2017%20del%201970>
- Ramírez A. & Rosero C. (2013). Manual Hidrológico de las Cuencas Hidrográficas de las Vertientes del Amazonas. *Escuela Politécnica Nacional*. Obtenido el 22 de agosto de 2022 de: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7055/1/CD-5231.pdf>
- M.Sc. Ing. Amado H. (2012). Estimación por Método Estadístico de la dotación de agua Potable para la Zona de Expansión Urbana de Nuevo Chimbote. *Universidad Nacional del Santa*. Obtenido el 17 de agosto de 2022 de: <https://www.uns.edu.pe/recursos/investigaciones/85.pdf>
- Blanes J. Navarro R., Drehwald U., Bustamante T., Moscoso A., Muñoz F., y Torres A. (2003). Las Zonas de Amortiguamiento: un instrumento para el manejo de la biodiversidad El caso de Ecuador, Perú, y Bolivia. Obtenido el 18 de agosto de 2022 de: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/45396.pdf>
- Herrera H. (2013). Páramos = Agua = Vida. *AIDA*. Obtenido el 18 de agosto de 2022 de: <https://aida-americas.org/es/blog/p%C3%A1ramos-agua-vida#:~:text=Los%20p%C3%A1ramos%20son%20ecosistemas%20de,volc%C3%A1nico%20suelen%20ser%20muy%20f%C3%A9rtil>
- OVACEN. (2020). Páramo; Clima, flora, fauna, y características. Obtenido el 18 de agosto de 2022 de: <https://ecosistemas.ovacen.com/bioma/paramo/#:~:text=La%20vegetaci%C3%B3n%20del%20p%C3%A1ramo%20se,musgos%20%2C%20l%C3%ADquenes%20y%20ciertos%20pastos>
- Torres S. & Proaño C. (2018). Componentes del Balance Hídrico en los Páramos de Jatunsacha, Ecuador. *Universidad Politécnica Salesiana*. Obtenido el 18 de agosto del 2022 de: <https://www.redalyc.org/journal/4760/476056688004/html/>
- INAMHI. (2017). Anuario Meteorológico N° 53-2013. Obtenido el 2 de septiembre de 2022 de: https://www.inamhi.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf
- INAMHI. (2017). Anuarios Meteorológicos. Obtenido el 2 de septiembre de 2022 de: <https://elyex.com/inamhi-anuarios-metereologicos-en-pdf/>
- INAMHI. (2022). Sistema de Visualización de Datos Hidrológicos. Obtenido el 2 de septiembre de 2022 de: <http://186.42.174.236/HidroInamhiV1/Front-End/>

- Muñoz D. (2018). Determinación de la Variación de la Escorrentía en la Cuenca del Río Papallacta y su Influencia en la Funcionalidad de la Cuenca. *Pontificia Universidad Católica del Ecuador*. Obtenido el 2 de septiembre de 2022 de: <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/15290/DETERMINACIÓN%20OESCORRENTÍA%20CUENCA%20DEL%20RÍO%20PAPALLACTA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- EPMAPS. (2019). Pliego Tarifario. Obtenido el 18 de agosto de 2022 de: <https://www.aguaquito.gob.ec/wp-content/uploads/2019/06/Pliego-Tarifario-EPMAPS-05.2019.pdf>
- SNI. (2014). Archivos de Información Geográfica. Obtenido el 2 de septiembre de 2022 de: <https://sni.gob.ec/coberturas>
- SNI. (2022). Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial – PDYOT. Obtenido el 5 de septiembre de 2022 de: <https://multimedia.planificacion.gob.ec/PDOT/descargas.html>
- Sánchez I. & Salazar R. (2007). Infraestructura Hidráulica para Agricultura. *Revista Electrónica de Ingeniería para Producción Acuícola*. Obtenido el 5 de septiembre de 2022 de: <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/reipa/article/view/1669/2060>
- Oyagata S. (2008) Manejo y tratamiento de aguas residuales con lenteja acuática, lechuguín y totora. Obtenido el 30 de noviembre de 2022 de: https://dds.cepal.org/innovacionsocial/e/proyectos/doc/Proyecto-Lechuguin-final_es.pdf
- IEE. (2007). Generación de información para la gestión del territorio a nivel nacional componente: Clima, Hidrología y Amenazas hidrometeorológicas. Obtenido el 30 de octubre de 2022 de: <https://fliphtml5.com/ijia/orlg/basic>
- Agrodigital S.L. (2009). De un ternero de 475kg se consumen 157 kilos de carne. Obtenido el 29 de noviembre de 2022 de: <https://www.agrodigital.com/2009/12/18/de-un-ternero-de-475-kg-se-consumen-157-kilos-de-carne/>
- ProdetecS. (2022). ¿Hay alguna diferencia entre las pastillas de cloro y el cloro líquido? Obtenido el 30 de octubre de 2022 de: <https://prodetecs.com/hay-alguna-diferencia-entre-las-pastillas-de-cloro-y-el-cloro-liquido/>
- Ministerio de Salud Costa Rica. (1997). Disposición correcta de la basura: El Relleno Sanitario. Obtenido el 30 de octubre de 2022 de: <https://www.binasss.sa.cr/poblacion/rellenosanitario.htm>
- TNA. https://www.ctc-n.org/sites/www.ctc-n.org/files/UNFCCC_docs/ref35x10_35.pdf
- Toolmania. (2022). Bombas de agua centrífuga. Obtenido el 1 de noviembre de 2022 de: <https://toolmania.cl/bombas-de-agua/bomba-centrifuga-125x1-15-hp-para-agua-limpia-y-liquidos-no-corrosivos-hyundai-82hycpm180-6191.html>
- Guía de diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas. Obtenido el 30 de octubre de 2022 de:

<http://www.elaguapotable.com/Guia%20dise%C3%B1o%20filtraci%C3%B3n%20en%20m%C3%BAltiples%20etapas.pdf>

CYPE. (2022). Generador de precios. Obtenido el 8 de noviembre de 2022 de:
http://www.ecuador.generadordeprecios.info/obra_nueva/Instalaciones.html

Planet Andes. (2022). Mapa turístico del Parque Nacional Cayambe Coca.
<https://www.planetandes.com/es/ecuador/amazonas/napo/mapa-turistico-cayambe-coca-parque-nacional/>

Bruni M. & Spuhler D. (2020). Rapid Sand Filtration. Obtenido el 5 de octubre de 2022 de:
<https://sswm.info/water-nutrient-cycle/water-purification/hardwares/semi-centralised-drinking-water-treatments/rapid-sand-filtration>

USACE Army. (2009). AED Design Requirements: Sanitary Sewer & Septic System. Obtenido el 26 de octubre de 2022 de:
https://www.tad.usace.army.mil/Portals/53/docs/TAA/AEDDesignRequirements/AED%20Design%20Requirements%20-%20Sanitary%20Sewer%20and%20Septic%20Systems_Sep_09.pdf

INEC. (2021). 7 de cada 10 hogares en el país no ahorran agua. INEC presenta encuesta. Obtenido el 26 de octubre de 2022 de:
<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/7-de-cada-10-hogares-en-el-pais-no-ahorran-agua-inec-presenta-encuesta/>

Carbotecnia (2022). Grava sílica de soporte de camas filtrantes. Obtenido el 2 de noviembre de 2022 de: <https://www.carbotecnia.info/producto/grava-silica/>

Carbotecnia (2022). Arena sílica. Obtenido el 2 de noviembre de 2022 de:
<https://www.carbotecnia.info/producto/medio-arena-silica-para-filtros-de-agua/>

Cóndor M. C. (2015). Implementación de un tratamiento de potabilización de agua para consumo humano de un ojo de agua en la comuna Armero de la ciudad de Quito. *Universidad Central del Ecuador*. Obtenido el 3 de noviembre de 2022 de:
<http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6423/1/T-UC-0008-103.pdf>

<https://www.concredisenos.com.co/#services>

Salazar E. (2010). Gestión Municipal en áreas de protección Ecológica del Distrito Metropolitano de Quito. *Universidad Internacional SEK*. Obtenido el 4 de octubre de 2022 de:
<https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/94/1/Gestion%20municipal%20en%20areas%20de%20proteccion%20ecologica.pdf>

MIES. (2009). Reglamento de Prevención, Mitigación y Protección Contra Incendios. Obtenido el 5 de noviembre de 2022 de:
<https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2019-11/REGLAMENTO%20DE%20PREVENCION%20C%20MITIGACION%20Y%20PROTECCION%20CONTRA%20INCENDIOS.pdf>

Ministerio de Salud Pública de Guatemala. (2006). Tratamiento y Desinfección de Agua para Consumo Humano por Medio de Cloro. Guía Técnica. Obtenido el 4 de noviembre de

2022 de:

<https://desastres.medicina.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0214/doc0214.pdf>

- Ibarguen M. & Bernal L. (2008). Establecer la Demanda de Cloro en el Acueducto Tribunas Córrega de la Ciudad de Pereira. *Universidad Tecnológica de Pereira*. Obtenido el 4 de noviembre de 2022 de: <https://core.ac.uk/download/pdf/71396109.pdf>
- FenxPool. (2022). ¿Cuánto tiempo tarda en deshacerse una pastilla de cloro? Obtenido el 4 de noviembre de 2022 de: <https://fenxpool.es/que-hacer-cuando-las-pastillas-de-cloro-no-se-disuelven/>
- Tech Action. (2022). Gestión de la maleza acuática (Lechuguines). *Fact sheet extracted from TNA Report from: https://tech-action.unepccc.org/*. Obtenido el 4 de noviembre de 2022 de: https://www.ctc-n.org/sites/www.ctc-n.org/files/UNFCCC_docs/ref35x10_35.pdf <https://tech-action.unepccc.org/>
- Organización Panamericana de la Salud. (2005). Guía para diseño de tratamiento de filtración en múltiples etapas. Obtenido el 4 de noviembre de 2022 de: <http://www.elaguapotable.com/Guia%20dise%C3%B1o%20filtraci%C3%B3n%20en%20m%C3%BAltiples%20etapas.pdf>
- Díaz E., Alvarado A., & Camacho K. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. *Universidad Autónoma del Estado de México*. Obtenido el 5 de noviembre de 2022 de: <https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf>
- Lombritec (2020). Excrementos humanos como abono orgánico – Construye tu inodoro seco. <https://lombritec.com/compost-excrementos-humanos/#:~:text=Fertiliza%20con%20una%20mezcla%20de,buenos%20resultados%20con%20esta%20fertilizaci%C3%B3n.>

ANEXO A: CÁLCULO DE CURVATURA DE AZUD

OGEE SHEIR					
Estiaje			Crecida		
Parámetro	Valor	Unidades	Parámetro	Valor	Unidades
e_muelle	0	m	e_muelle	0	m
L	2.35	m	L	2.35	m
Qrío1	0.1127	m3/s	Qrío1	0.33	m3/s
h	0.40	m	h	0.4	m
c	2.20	-	c	2.2	-
He_i	0.078	m	He_i	0.159146723	m
c_real	2.2	-	c_real	2.2	-
He_f	0.084	m	He_f	0.172	m
N	0	U	N	0	u
Kp	0.01	-	Kp	0.01	.
Ka	0.10	-	Ka	0.10	.
Le	2.33	M	Le	2.32	M
He_g	0.0784	M	He_g	0.1607	M
	ok			ok	
Hd	0	m	Hd	0	M
A	1.124	m2	A	1.318	m2
Va	0.10025	m/s	Va	0.24910	m/s
Ha_real	0.00051	m	Ha_real	0.00316	M
He_real	0.07892	m	He_real	0.16388	M
R	0.1	m	R	0.1	M
θ	60	°	θ	60	°
dx	1		dx	1	
dy	0.7		dy	0.7	
x	0.1316	m	x	0.2733	m
y	0.1016	m	y	0.2110	m

D/S		U/S	
X	Y	X	Y
		-0.032	0.5
		-0.021309538	0.078924216
0.1316	0.1016	0	0.005069578
0.151608	0.1320	0.02	0.017250551
0.171608	0.1660	0.04	0.035812671
0.191608	0.2036	0.06	0.060377009
0.211608	0.2447	0.08	0.090690741

0.231608	0.2892	0.1	0.126565543
0.251608	0.3370	0.12	0.16785221
0.271608	0.3883	0.14	0.214427716
0.291608	0.4428	0.16	0.266187732
0.311608	0.5006	0.18	0.32304192
0.331608	0.5617	0.2	0.38491078
0.351608	0.6260	0.22	0.451723448
0.371608	0.6934	0.24	0.523416086
0.391608	0.7640	0.26	0.599930687
		0.28	0.63
		0.3	0.63
		0.32	0.63
		0.34	0.63

D/S		U/S	
X	Y	X	Y
		-0.064247743	0.5
		-0.044247743	0.071093
0.2733	0.2110	0	0.010527
0.29327394	0.2405	0.02	0.020986
0.31327394	0.2717	0.04	0.034648
0.33327394	0.3047	0.06	0.051382
0.35327394	0.3393	0.08	0.071093
0.37327394	0.3757	0.1	0.093701
0.39327394	0.4138	0.12	0.119142
0.41327394	0.4536	0.14	0.147362
0.43327394	0.4950	0.16	0.178312
0.45327394	0.5381	0.18	0.211952
0.47327394	0.5829	0.2	0.248243
0.49327394	0.6293	0.22	0.287152
0.51327394	0.6773	0.24	0.328647
0.53327394	0.7269	0.26	0.372701
0.55327394	0.7781	0.28	0.419288
0.57327394	0.8310	0.3	0.468384
0.59327394	0.8854	0.32	0.519965
0.61327394	0.9414	0.34	0.574012
		0.36	0.630505
		0.38	0.689424
		0.4	0.72
		0.42	0.72
		0.44	0.72

ANEXO B: INFORME DE MEDICIÓN DE CAUDALES RIACHUELO ALPATOLA



ANALÍTICA AVANZADA – ASESORÍA Y LABORATORIOS CIA LTDA

“Brindamos a nuestros clientes confianza y seguridad para juntos cuidar de nuestro entorno”.

INFORME DE MEDICIÓN DE CAUDALES RIACHUELO ALPATOLA

SERRANO PROAÑO DISEÑO Y CONSTRUCCION S.A.

AGOSTO 2022



INFORME TÉCNICO

SERVICIO DE MEDICIÓN DE CAUDAL EN EL RIACHUELO ALPATOLA EN EL SECTOR ALPATOLA.

1. DATOS GENERALES DEL REPORTE.

a) **Nombre de la Empresa:** SERRANO PROAÑO DISEÑO Y CONSTRUCCION S.A.

b) **Responsable:** Ing. Juan Proaño

c) **Dirección del Monitoreo:** Sector Alpatola, Parroquia Pifo, Cantón Quito, Provincia de Pichincha.

d) **Fecha de monitoreo:** 03 de septiembre del año 2022.

e) **Razón Social del Laboratorio, Dirección y Teléfono:**

Analítica Avanzada – Asesoría y Laboratorios. ANAVANLAB CÍA. LTDA.

Leonardo Da Vinci S6-236 y Alberto Durero

Quito – Ecuador

Teléf.: 514 3303

f) **Acreditación Servicio Ecuatoriano de Acreditación:**

No. SAE LEN 13-006. Revisar ANEXO 1.

g) **Nombre personal técnico que efectúa los monitoreos:**

Ing. Miguel Bustos

Téc. Juan Soto





2. ANTECEDENTES. -

Analítica Avanzada – Asesoría y Laboratorios ANAVANLAB CÍA. LTDA., ofrece servicios de análisis fisicoquímico en varias ramas, entre ellas la medio ambiental, minera y agroquímica, con una visión de sostenibilidad en todos sus aspectos y procesos. Utiliza tecnología de vanguardia y garantiza la calidad y confiabilidad de sus resultados, a través de su sistema de gestión integrado. ANAVANLAB está acreditado con la Norma ISO/IEC 17025, con el Servicio de Acreditación Ecuatoriano, SAE (Certificado No. SAE LEN 13-006).

SERRANO PROAÑO DISEÑO Y CONSTRUCCION S.A. se dedica a actividades de asesoramiento técnico de arquitectura en diseño de edificios y dibujo de planos de construcción; ANAVANLAB CIA. LTDA dentro de sus proyectos de Responsabilidad Social realiza la medición de caudales en el riachuelo Alpatola a petición de la empresa SERRANO PROAÑO DISEÑO Y CONSTRUCCION S.A.

La medición de caudales fue realizada por personal técnico de ANAVANLAB, de acuerdo al Procedimiento Interno de Toma de Muestras de Agua.

SAE que puede ser consultado en la página web www.acreditacion.gob.ec.

3. MEDICION DE CAUDALES

Identificación y ubicación de los puntos de Monitoreo:

IDENTIFICACIÓN	SITIO DE TOMA DE CAUDAL	COORDENADAS UTM WGS-84	CÓDIGO AAALAB
PUNTO 01	ALPATOLA	17M 0808003;9966835	41929
PUNTO 02		17M 0807973;9966839	41930
PUNTO 03		17M 0807956;9966836	41931
PUNTO 04		17M 0807940;9966846	41932





Ilustración 1: Puntos Medición Caudal

En el Anexo 4 del presente documento se encuentra el Registro Fotográfico de cada punto del monitoreo.

4. RESULTADO DE LOS ANÁLISIS

A continuación, se presenta un cuadro con los resultados de los caudales medidos en el riachuelo Alpatola en el mes de septiembre del año 2022; para el cálculo de los caudales se midió el ancho del riachuelo (se divide en tres secciones), la profundidad y la velocidad del mismo; una vez obtenido dicha información se aplica las siguientes ecuaciones para el cálculo respectivo.

$$\text{Caudal por Sección} = \frac{\text{ancho}}{3} * \text{velocidad} * \text{profundidad}$$

$$\text{Caudal fina (Q)} = \sum \text{Caudales por Sección}$$



Tabla 1 CÁLCULO CAUDAL P1

Ancho (m)	Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
2,07	0,33	1,0	0,227
	0,38	0,7	0,183
	0,14	0,1	0,010
Caudal Final (Q) m³/s			0,420
Caudal Final (Q) L/s			420

Tabla 2 CÁLCULO CAUDAL P2

Ancho (m)	Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
1,60	0,46	0,7	0,171
	0,48	0,3	0,076
	0,32	0,6	0,102
Caudal Final (Q) m³/s			0,349
Caudal Final (Q) L/s			349

Tabla 3 CÁLCULO CAUDAL P3

Ancho (m)	Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
1,60	0,42	0,9	0,200
	0,31	0,6	0,099
	0,14	0,7	0,052
Caudal Final (Q) m³/s			0,351
Caudal Final (Q) L/s			351

Tabla 4 CÁLCULO CAUDAL P4

Ancho (m)	Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
1,56	0,34	1,1	0,194
	0,33	0,9	0,154
	0,30	0,7	0,109
Caudal Final (Q) m³/s			0,457
Caudal Final (Q) L/s			457





Tabla 5 RESULTADO CAUDALES RIACHUELO ALPATOLA

No. de Laboratorio	Identificación	Fecha Muestreo	Hora Muestreo	Proyecto	Parámetro	Caudal de Descarga
					Unidades	L/s
					Método	(Volumetría)
41929	PUNTO 01	03/09/2022	9:06	SERRANO PROAÑO DISEÑO Y CONSTRUCCION S.A.	Resultado	420
41930	PUNTO 02	03/09/2022	9:19		Resultado	349
41931	PUNTO 03	03/09/2022	9:39		Resultado	351
41932	PUNTO 04	03/09/2022	9:51		Resultado	457



* servicioalcliente@aaalab.com.ec • 099 600 3217 • (02) 514 3303 • Matriz: Quito • Sede: El Coca



5. CONCLUSIONES

- ✓ La Medición de Caudal en el riachuelo Alpatola se ha ejecutado de forma satisfactoria, tanto en la toma de muestra como en los análisis de laboratorio de acuerdo a los procedimientos técnicos de ANAVANLAB CIA. LTDA., conforme a su Sistema de Gestión de la Calidad reglamentado por la Norma NTE INEN ISO/IEC 17025:2018.

Firma de Responsabilidad del Laboratorio:

Lcda. Alejandra Hidalgo
GERENTE TECNICO
ANAVANLAB CIA. LTDA.



Anexo 1: Informes de Ensayo de Aguas y Cadena de Custodia





**ANALITICA AVANZADA - ASESORIA Y LABORATORIOS
ANAVANLAB CIA. LTDA.**

Matriz: La Primavera I. Leonardo da Vinci S6-236 y Alberto Durero, Cumbaya.
Contactos: 3550852 / 5143303 / servicioalcliente@aanalab.com.ec

Sucursal: Avenida 9 de Octubre y Miguel Gamboa esquina, El Coca

Orden No. 41929-41932
Muestra AAA Lab No. 41929
Página 1 de 1

INFORME DE RESULTADOS No. 41929

1.- DATOS GENERALES					
CLIENTE:	SERRANO PROAÑO DISEÑO Y CONSTRUCCION S.A.			TELEFONO:	02 3801480
DIRECCION:	QUITO / KENNEDY / CAPITAN RAMON BORJA E10-154 Y AV ELOY ALFARO			ATENCION A:	JUAN PROAÑO
2.-INFORMACION DE LA MUESTRA	INTEGRIDAD DE LA MUESTRA:	CUMPLE	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA:	CAUDALES ALPATOLA	
TIPO DE MUESTRA:	AGUA SUPERFICIAL		FECHA DE TOMA DE MUESTRA:	03/09/2022	
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:	PUNTO 01 WGS84 17M 0808003;9966835		RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:	ANAVANLAB CIA. LTDA.	
FECHA DE RECEPCION MUESTRA:	03/09/2022		PERIODO DE REALIZACION DE ANALISIS:	03/09/2022 al 03/09/2022	

3.-RESULTADOS					
AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO	+/- % U**
(*)	Caudal de Descarga	Volumetría	L/s	420	NA

AA (Acreditaciones):		NOTAS
1. Ensayos dentro del alcance de acreditación del SAE realizados en Matriz Quito.	2. Ensayos subcontratados acreditados. Ver observaciones.	*Interpretaciones fuera del alcance de acreditación SAE.
3. Ensayos dentro del alcance de acreditación del SAE realizados en Sucursal Coca.	4. Ensayos subcontratados no acreditados. Ver observaciones.	**INCERTIDUMBRE (U%): Los valores se han estimado con k=2, nivel de confianza 95,45%.
(*) Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación SAE.		Procedimiento de Toma de muestra utilizado por ANAVANLAB: AAA-PI-A003 / AAA-PI-S001

El presente informe solo afecta a la muestra analizada. Si el cliente suministró la muestra, su información y sus resultados aplican a la muestra como se recibió.

Este informe es de propiedad del cliente y se considera de carácter privado y confidencial. Los datos suministrados por el cliente se detallan en el apartado de Datos Generales, y en el de identificación de la muestra cuando aplique.

4.-OBSERVACIONES	INFORME REVISADO Y AUTORIZADO POR: Lcda. Alejandra Hidalgo Gerente Técnica ANAVANLAB CIA. LTDA. Quito, 08/09/2022	
------------------	--	--



**ANALITICA AVANZADA - ASESORIA Y LABORATORIOS
ANAVANLAB CIA. LTDA.**

Matriz: La Primavera I. Leonardo da Vinci S6-236 y Alberto Durero, Cumbaya.
Contactos: 3550852 / 5143303 / servicioalcliente@aaalab.com.ec

Sucursal: Avenida 9 de Octubre y Miguel Gamboa esquina, El Coca

Orden No. 41929-41932
Muestra AAALab No. 41930
Página 1 de 1

INFORME DE RESULTADOS No. 41930

1.- DATOS GENERALES						
CLIENTE:	SERRANO PROAÑO DISEÑO Y CONSTRUCCION S.A.			TELEFONO:		
DIRECCION:				ATENCION A:		
2.- INFORMACION DE LA MUESTRA		INTEGRIDAD DE LA MUESTRA:	CUMPLE	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA:	CAUDALES ALPATOLA	
TIPO DE MUESTRA:	AGUA SUPERFICIAL			FECHA DE TOMA DE MUESTRA:	03/09/2022	
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:	PUNTO 02 WGS84 17M 0807973;9966839			RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:	ANAVANLAB CIA. LTDA.	
FECHA DE RECEPCION MUESTRA:	03/09/2022			PERIODO DE REALIZACION DE ANALISIS:	03/09/2022 al 03/09/2022	
3.- RESULTADOS						
AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO		UNIDADES	RESULTADO	+/- % U**
(*)	Caudal de Descarga	Volumetría		L/s	349	NA

AA (Acreditaciones):		NOTAS
1. Ensayos dentro del alcance de acreditación del SAE realizados en Matriz Quito.	2. Ensayos subcontratados acreditados. Ver observaciones.	*Interpretaciones fuera del alcance de acreditación SAE.
3. Ensayos dentro del alcance de acreditación del SAE realizados en Sucursal Coca.	4. Ensayos subcontratados no acreditados. Ver observaciones.	**INCERTIDUMBRE (U%): Los valores se han estimado con k=2, nivel de confianza 95,45%.
(*) Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación SAE.	ANAVANLAB asume la responsabilidad por los análisis subcontratados.	Procedimiento de Toma de muestra utilizado por ANAVANLAB: AAA-PI-A003 / AAA-PI-S001

El presente informe solo afecta a la muestra analizada. Si el cliente suministró la muestra, su información y sus resultados aplican a la muestra como se recibió.

Este informe es de propiedad del cliente y se considera de carácter privado y confidencial. Los datos suministrados por el cliente se detallan en el apartado de Datos Generales, y en el de identificación de la muestra cuando aplique.

4.- OBSERVACIONES	INFORME REVISADO Y AUTORIZADO POR: Lcda. Alejandra Hidalgo Gerente Técnica ANAVANLAB CIA. LTDA. Quito, 08/09/2022	
-------------------	--	---

MC0703-09

Se prohíbe su reproducción total o parcial sin autorización de ANAVANLAB CIA LTDA.



**ANALITICA AVANZADA - ASESORIA Y LABORATORIOS
ANAVANLAB CIA. LTDA.**

Matriz: La Primavera I, Leonardo da Vinci S6-236 y Alberto Durero, Cumbaya.
Contactos: 3550852 / 5143303 / servicioalcliente@aaalab.com.ec

Sucursal: Avenida 9 de Octubre y Miguel Gamboa esquina, El Coca

Orden No. 41929-41932
Muestra AAALab No. 41931
Página 1 de 1

INFORME DE RESULTADOS No. 41931						
1.- DATOS GENERALES						
CLIENTE:	SERRANO PROAÑO DISEÑO Y CONSTRUCCION S.A.			TELEFONO:		
DIRECCION:				ATENCION A:		
2.- INFORMACION DE LA MUESTRA		INTEGRIDAD DE LA MUESTRA:	CUMPLE	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA:	CAUDALES ALPATOLA	
TIPO DE MUESTRA:	AGUA SUPERFICIAL			FECHA DE TOMA DE MUESTRA:	03/09/2022	
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:	PUNTO 03 WGS84 17M 0807956;9966836			RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:	ANAVANLAB CIA. LTDA.	
FECHA DE RECEPCION MUESTRA:	03/09/2022			PERIODO DE REALIZACION DE ANALISIS:	03/09/2022 al 03/09/2022	
3.- RESULTADOS						
AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO		UNIDADES	RESULTADO	+/- % U**
(*)	Caudal de Descarga	Volumetría		L/s	351	NA
AA (Acreditaciones):				NOTAS		
1: Ensayos dentro del alcance de acreditación del SAE realizados en Matriz Quito.		2: Ensayos subcontratados acreditados. Ver observaciones.		*Interpretaciones fuera del alcance de acreditación SAE.		
3: Ensayos dentro del alcance de acreditación del SAE realizados en Sucursal Coca.		4: Ensayos subcontratados no acreditados. Ver observaciones.		**INCERTIDUMBRE (U%): Los valores se han estimado con k=2, nivel de confianza 95,45%.		
(*) Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación SAE.		ANAVANLAB asume la responsabilidad por los análisis subcontratados.		Procedimiento de Toma de muestra utilizado por ANAVANLAB: AAA-PI-A003 / AAA-PI-S001		
El presente informe solo afecta a la muestra analizada. Si el cliente suministró la muestra, su información y sus resultados aplican a la muestra como se recibió.						
Este informe es de propiedad del cliente y se considera de carácter privado y confidencial. Los datos suministrados por el cliente se detallan en el apartado de Datos Generales, y en el de identificación de la muestra cuando aplique.						
4.- OBSERVACIONES				INFORME REVISADO Y AUTORIZADO POR: Loda. Alejandra Hidalgo Gerente Técnica ANAVANLAB CIA. LTDA. Quito, 08/09/2022		

MC0703-09

Se prohíbe su reproducción total o parcial sin autorización de ANAVANLAB CIA LTDA.



**ANALITICA AVANZADA - ASESORIA Y LABORATORIOS
ANAVANLAB CIA. LTDA.**

Matriz: La Primavera I. Leonardo da Vinci S6-236 y Alberto Durero, Cumbaya.
Contactos: 3550852 / 5143303 / servicioalcliente@aaalab.com.ec

Sucursal: Avenida 9 de Octubre y Miguel Gamboa esquina, El Coca

Orden No. 41929-41932
Muestra AAALab No. 41932
Página 1 de 1

INFORME DE RESULTADOS No. 41932

1.- DATOS GENERALES						
CLIENTE:	SERRANO PROAÑO DISEÑO Y CONSTRUCCION S.A.			TELEFONO:		
DIRECCION:				ATENCION A:		
2.- INFORMACION DE LA MUESTRA		INTEGRIDAD DE LA MUESTRA:	CUMPLE	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA:	CAUDALES ALPATOLA	
TIPO DE MUESTRA:	AGUA SUPERFICIAL			FECHA DE TOMA DE MUESTRA:	03/09/2022	
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:	PUNTO 04 WGS84 17M 0807940;9966846			RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:	ANAVANLAB CIA. LTDA.	
FECHA DE RECEPCION MUESTRA:	03/09/2022			PERIODO DE REALIZACION DE ANALISIS:	03/09/2022 al 03/09/2022	
3.- RESULTADOS						
AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO		UNIDADES	RESULTADO	+/- % U**
(*)	Caudal de Descarga	Volumetría		L/s	457	NA

AA (Acreditaciones):		NOTAS
1: Ensayos dentro del alcance de acreditación del SAE realizados en Matriz Quito.	2: Ensayos subcontratados acreditados. Ver observaciones.	*Interpretaciones fuera del alcance de acreditación SAE.
3: Ensayos dentro del alcance de acreditación del SAE realizados en Sucursal Coca.	4: Ensayos subcontratados no acreditados. Ver observaciones.	**INCERTIDUMBRE (U%): Los valores se han estimado con k=2, nivel de confianza 95.45%.
(*) Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación SAE.	ANAVANLAB asume la responsabilidad por los análisis subcontratados.	Procedimiento de Toma de muestra utilizado por ANAVANLAB: AAA-PI-A003 / AAA-PI-5001
El presente informe solo afecta a la muestra analizada. Si el cliente suministró la muestra, su información y sus resultados aplican a la muestra como se recibió.		
Este informe es de propiedad del cliente y se considera de carácter privado y confidencial. Los datos suministrados por el cliente se detallan en el apartado de Datos Generales, y en el de identificación de la muestra cuando aplique.		
4.- OBSERVACIONES		INFORME REVISADO Y AUTORIZADO POR: Lcda. Alejandra Hidalgo Gerente Técnica ANAVANLAB CIA. LTDA. Quito, 08/09/2022



Anexo 2: Registro fotográfico



• servicioalcliente@aaalab.com.ec • 099 600 3217 • (02) 514 3303 • Matriz: Quito • Sede: El Coca

REGISTRO FOTOGRÁFICO

SERRANO PROAÑO DISEÑO Y CONSTRUCCION S.A.

Fecha de toma de muestra: 03 de septiembre del año 2022

Tabla 1: PUNTO 1

PUNTO 1 UTM WGS84 17M 0808003;9966835 ±4m	
	
Fotografía 1: Identificación	Fotografía 2: Coordenadas
	
Fotografía 3: Caudalímetro	Fotografía 4: Medición profundidad

Tabla 2: PUNTO 2

PUNTO 2 UTM WGS84 17M 0807973;9966839 ±3m	
	
Fotografía 1: Vista General	Fotografía 2: Medición Caudal
	
Fotografía 3: Coordenadas	

Tabla 3: PUNTO 3

PUNTO 3 UTM WGS84 17M 0807956,9966836 ±4m	
	
Fotografía 1: Vista General	Fotografía 2: Medición Caudal
	
Fotografía 3: Coordenadas	

Tabla 4: PUNTO 4

PUNTO 4 UTM WGS84 17M 0807940;9966846 ±5m	
	
Fotografía 1: Vista General	Fotografía 2: Medición Caudal
	
Fotografía 3: Coordenadas	

ANEXO C: ESTUDIO DE CALIDAD DEL AGUA



ANALÍTICA AVANZADA - ASESORÍA Y LABORATORIOS ANAVANLAB CIA. LTDA.

Matriz: La Primavera I, Leonardo Da Vinci S6-236 y Alberto Durero, Cumbayá.
Contactos: 3550852 / 5143303 / serviciocliente@aanalab.com.ec



Muestra AAALab No: 22883

Página 1 de 1

INFORME DE RESULTADOS N° 22883

1.- DATOS GENERALES			
CLIENTE:	PROAÑO CEVALLOS DIEGO FERNANDO	TELÉFONO:	0999225498
DIRECCIÓN:	PUEMBO	ATENCIÓN A:	DIEGO PROAÑO

2. INFORMACION DE LA MUESTRA	INTEGRIDAD DE LA MUESTRA:	CUMPLE	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA:	NO DISPONIBLE
TIPO DE MUESTRA:	AGUA SUPERFICIAL		FECHA DE TOMA DE MUESTRA:	01/03/2021
IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:	VERTIENTE		RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:	ANAVANLAB CIA. LTDA
FECHA DE RECEPCIÓN MUESTRA:	01/03/2021		PERÍODO DE REALIZACIÓN DE ANÁLISIS:	01/03/2021 al 13/03/2021

Norma de Comparación: NTE INEN 1108:2020 AGUA PARA COSUMO HUMANO. REQUISITOS Y ANEXOS							
3. RESULTADOS:							
AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO	VALORES DE NORMA	* CUMPLIMIENTO	**INCERTIDUMBRE + % U
1	Arsénico	AAA-PE-A023/ SM 3114 C, 3112 B. EPA 3015	mg/L	< 0,0005	0,01	CUMPLE	NA
1	Cloruros	AAA-PE-A006/ SM 4500-Cl - B	mg/L	< 3,0	NA		NA
1	Color	AAA-PE-A007/ SM 2120 C	Unid PtCo	31	15	NO CUMPLE	18,3
1	Conductividad Eléctrica	AAA-PE-A008/ SM 2510 B	uS/cm	57,9	NA		5,2
1	Dureza Total	AAA-PE-A015/ SM2340 C	mg/L	20,2	NA		10
1	Hierro	AAA-PE-A022/ SM 3111 B. EPA 3015	mg/L	0,29	NA		30
1	pH	AAA-PE-A029/ SM 4500 H+B.	unid pH	6,5	NA		1
1	Sólidos Disueltos Totales	AAA-PE-A032/ SM 2510 A	mg/L	< 100	NA		5,1
1	Sólidos Suspendedos	AAA-PE-A034/ HACH 8006	mg/L	< 30	NA		8,5
1	Turbidez	AAA-PE-A038/ SM 2130 B	NTU	3,59	5	CUMPLE	1
1	COLIFORMES TOTALES NMP	AAA-PE-A015/ SM 9223 B	NMP/100mL	218,7	NA		NA
1	COLIFORMES TOTALES NMP	AAA-PE-A015/ SM 9223 B	NMP/100mL	218,7	NA		NA
1	COLIFORMES FECALES NMP	AAA-PE-A015/ SM 9223 B	NMP/100mL	1,0	1,1	CUMPLE	NA
(*)	MESÓFILOS AEROBIOS TOTALES	SM 9215 D	UFC/100mL	< 1,0	NA		NA

NOTAS:

AA (Acreditaciones):	*Interpretaciones fuera del alcance de acreditación SAE	**Los valores de incertidumbre se expresan en porcentaje y se han estimado con k=2, nivel de confianza 95,45%
1: Ensayos dentro del alcance de acreditación del SAE realizados en Matriz Quito		
(*) Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de acreditación SAE.		
El presente informe solo afecta a la muestra analizada. Procedimiento de Toma de muestra utilizado por ANAVANLAB: AAA-PI-A003 / AAA-PI-5001		
2: Ensayos subcontratados. En el apartado de observaciones se indica el laboratorio subcontratado. ANAVANLAB asume la responsabilidad por los análisis subcontratados.		
3: Ensayos dentro del alcance de acreditación del SAE realizados en Sucursal Avenida 9 de Octubre y Miguel Gamboa esquina, El Caca		
El presente informe solo afecta a la muestra analizada. Procedimiento de Toma de muestra utilizado por ANAVANLAB: AAA-PI-A003 / AAA-PI-5001		

Si el cliente suministró la muestra, los resultados aplican a la muestra como se recibió.

4. OBSERVACIONES	<p style="text-align: center;">INFORME APROBADO Y AUTORIZADO POR: Lcda. Alejandra Hidalgo Gerente Técnica ANAVANLAB CIA. LTDA. Quito, 13 de marzo de 2021</p> <div style="text-align: right;"> </div>
------------------	--

Digitally signed by ANA ALEJANDRA HIDALGO ALVAREZ
Date: 2021.03.13 23:28:40 +0100
Reason: Anavanlab
Location: -

MC0703-07

Se prohíbe su reproducción total o parcial sin autorización de ANAVANLAB CIA LTDA.