



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**SEDE ORELLANA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
PARA USO AGROPECUARIO DE LAS FINCAS QUE FORMAN  
PARTE DEL PROYECTO AGROSILVOPASTORIL  
LOCALIZADAS EN LA PARROQUIA LA BELLEZA,  
PROVINCIA DE ORELLANA.**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR: KEVIN JOSUE MEZA MANCHENO**

**DIRECTOR: Ing. BYRON JESUS SERRANO CASTILLO, Mg.**

El Coca – Ecuador

2023

© 2023, Kevin Josue Meza Mancheno

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Kevin Josue Meza Mancheno, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

El Coca, 12 de diciembre de 2023

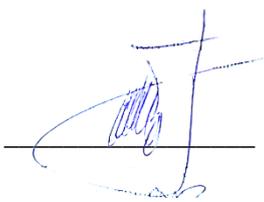
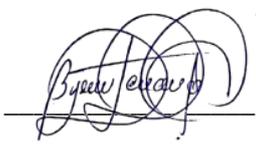


**Kevin Josue Meza Mancheno**

**C.I. 220014964-5**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto Técnico , **DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS PARA USO AGROPECUARIO DE LAS FINCAS QUE FORMAN PARTE DEL PROYECTO AGROSILVOPASTORIL LOCALIZADAS EN LA PARROQUIA LA BELLEZA, PROVINCIA DE ORELLANA**, realizado por el señor: **KEVIN JOSUE MEZA MANCHENO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Carlos Mestanza Ramón, PhD. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2023-12-12
Ing. Byron Jesús Serrano Castillo, Mg. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-12-12
Ing. Marcos Patricio Barahona Morales, Mg. <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-12-12

## **DEDICATORIA**

A mis padres, fuente inagotable de amor y apoyo, cuyo sacrificio y aliento han sido mi faro en esta travesía académica. A mis amigos, por compartir risas que aligeraron la carga y por comprender las ausencias. A mis profesores, cuyas enseñanzas han dado forma a mi entendimiento. A cada experiencia que contribuyó a este camino de aprendizaje. Esta tesis es el fruto de un esfuerzo colectivo, y dedico con gratitud cada pina a quienes han sido parte de mi viaje. Con cariño y agradecimiento

Kevin

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas e instituciones que han desempeñado un papel crucial en la realización de esta tesis. Agradezco a mi director/a de tesis por su orientación experta y apoyo constante a lo largo de este proceso. También reconozco la valiosa contribución de mis profesores/as y compañeros/as de clase, cuyas perspectivas enriquecieron significativamente este trabajo. Mi agradecimiento se extiende a mi familia y amigos/as, quienes brindaron apoyo emocional fundamental. Este logro no habría sido posible sin la orientación de diversas fuentes y el respaldo de aquellos que creyeron en este proyecto. A todos los involucrados, mi sincero agradecimiento por su contribución esencial a este viaje académico.

Kevin

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1.	Planteamiento del problema.....	3
1.2.	Justificación.....	4
1.3.	Objetivos.....	5
1.3.1.	<i>Objetivo general</i> .....	5
1.3.2.	<i>Objetivos específicos</i> .....	5

### CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO.....	6
2.1.	Referencias teóricas.....	6
2.1.1.	<i>Producción agrosilvopastoril</i> .....	6
2.1.2.	<i>Calidad del agua para uso agropecuario</i> .....	6
2.1.3.	<i>Calidad del agua en fuentes naturales</i> .....	7
2.1.4.	<i>Sistemas de tratamiento de agua</i> .....	8
2.1.5.	<i>Sistemas convencionales para el tratamiento del agua</i> .....	9
2.1.6.	<i>Parámetros de calidad del agua</i> .....	10
2.1.6.1.	<i>Factores físicos</i> .....	11
2.1.6.2.	<i>Factores químicos</i> .....	13
2.1.6.3.	<i>Factores biológicos</i> .....	15
2.1.6.4.	<i>Metales totales</i> .....	16
2.1.7.	<i>Proceso de tratamiento</i> .....	18
2.1.7.1.	<i>Pretratamiento</i> .....	19
2.1.7.2.	<i>Coagulación-floculación</i> .....	19

2.1.7.3.	<i>Decantación</i> .....	19
2.1.7.4.	<i>Filtración</i> .....	20
2.1.7.5.	<i>Filtración avanzada</i> .....	20
2.1.7.6.	<i>Oxidación-desinfección</i> .....	20
2.1.8.	<i>Acuerdo Ministerial 097-A</i> .....	20
2.1.9.	<i>Georreferenciación de un área</i> .....	21

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	22
3.1.	<b>Área de estudio</b> .....	22
3.1.1.	<i>Ubicación y extensión</i> .....	22
3.2.	<b>Georreferenciación del área de estudio</b> .....	23
3.3.	<b>Medición de caudales</b> .....	24
3.3.1.	<i>Método volumétrico</i> .....	24
3.3.2.	<i>Método de flotadores</i> .....	25
3.3.3.	<i>Procesamiento de información en SPSS</i> .....	29
3.4.	<b>Sistema de tratamiento convencional</b> .....	29
3.4.1.	<i>Parámetros físicos, químicos y biológicos del agua</i> .....	29
3.4.2.	<i>Selección de los métodos de tratamiento</i> .....	30
3.5.	<b>Dimensionamiento del sistema de tratamiento</b> .....	31
3.5.1.	<i>Demanda de agua y caudal de diseño</i> .....	31
3.5.2.	<i>Diseño del sistema de tratamiento</i> .....	32
3.5.2.1.	<i>Canal</i> .....	32
3.5.2.2.	<i>Rejillas</i> .....	34
3.5.2.3.	<i>Vertedero triangular</i> .....	35
3.5.2.4.	<i>Floculador de flujo horizontal</i> .....	42
3.5.2.5.	<i>Sedimentador</i> .....	47
3.5.2.6.	<i>Filtro lento de arena</i> .....	50
3.5.2.7.	<i>Reservorio</i> .....	52
3.6.	<b>Diseño de la planta</b> .....	52

## CAPÍTULO IV

<b>4.</b>	<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	53
<b>4.1.</b>	<b>Cálculo de caudales</b> .....	53
<b>4.1.1.</b>	<i>Variables medidas para el cálculo de caudales</i> .....	53
<b>4.1.1.1.</b>	<i>Finca Luis Prado</i> .....	54
<b>4.1.1.2.</b>	<i>Finca Heraldo Encarnación</i> .....	54
<b>4.1.1.3.</b>	<i>Finca José Cuenca</i> .....	55
<b>4.1.1.4.</b>	<i>Finca La Belleza</i> .....	56
<b>4.1.2.</b>	<b>Caudales medidos</b> .....	58
<b>4.1.2.1.</b>	<i>Finca Luis Prado</i> .....	58
<b>4.1.2.2.</b>	<i>Finca Heraldo Encarnación</i> .....	58
<b>4.1.2.3.</b>	<i>Finca José Cuenca</i> .....	59
<b>4.1.2.4.</b>	<i>Finca La Belleza</i> .....	59
<b>4.2.</b>	<b>Dimensionamiento del sistema de tratamiento</b> .....	60
<b>4.2.1.</b>	<b>Demanda de agua y caudal de diseño</b> .....	60
<b>4.2.1.1.</b>	<i>Demanda de agua para consumo agrícola</i> .....	60
<b>4.2.1.2.</b>	<i>Demanda de agua para consumo pecuario</i> .....	61
<b>4.2.1.3.</b>	<i>Consumo neto</i> .....	61
<b>4.3.</b>	<b>Calidad del agua cruda</b> .....	61
<b>4.4.</b>	<b>Diseño del sistema de tratamiento</b> .....	64
<b>4.4.1.</b>	<b>Canal</b> .....	64
<b>4.4.1.1.</b>	<i>Tirante normal</i> .....	64
<b>4.4.1.2.</b>	<i>Área del canal</i> .....	64
<b>4.4.1.3.</b>	<i>Radio hidráulico</i> .....	64
<b>4.4.1.4.</b>	<i>Velocidad de transporte</i> .....	65
<b>4.4.2.</b>	<b>Rejillas</b> .....	65
<b>4.4.2.1.</b>	<i>Sumatoria de la separación entre barras</i> .....	65
<b>4.4.2.2.</b>	<i>Número de barras</i> .....	66
<b>4.4.2.3.</b>	<i>Longitud de las barras</i> .....	66
<b>4.4.2.4.</b>	<i>Área de espacios entre barras</i> .....	67
<b>4.4.2.5.</b>	<i>Velocidad de flujo a través de las barras</i> .....	67
<b>4.4.3.</b>	<b>Vertedero triangular</b> .....	67
<b>4.4.3.1.</b>	<i>Altura de la lámina de agua sobre el vertedero</i> .....	67
<b>4.4.3.2.</b>	<i>Ancho de la lámina vertiente</i> .....	68
<b>4.4.3.3.</b>	<i>Ancho del canal</i> .....	68

4.4.3.4.	<i>Caudal unitario promedio</i> .....	68
4.4.3.5.	<i>Altura crítica</i> .....	69
4.4.3.6.	<i>Altura al inicio del resalto</i> .....	69
4.4.3.7.	<i>Velocidad al inicio del resalto</i> .....	70
4.4.3.8.	<i>Número de Froude</i> .....	70
4.4.3.9.	<i>Altura del agua después del resalto</i> .....	70
4.4.3.10.	<i>Velocidad al final del resalto</i> .....	71
4.4.3.11.	<i>Energía disipada en el resalto</i> .....	71
4.4.3.12.	<i>Longitud del resalto</i> .....	71
4.4.3.13.	<i>Distancia del vertedero a la sección 1</i> .....	72
4.4.3.14.	<i>Velocidad promedio en el resalto</i> .....	72
4.4.3.15.	<i>Tiempo de mezcla</i> .....	72
4.4.3.16.	<i>Gradiente de velocidad</i> .....	73
4.4.4.	<b><i>Floculador de flujo horizontal</i></b> .....	73
4.4.4.1.	<i>Sección 1</i> .....	74
4.4.4.2.	<i>Sección 2</i> .....	78
4.4.5.	<b><i>Sedimentador</i></b> .....	82
4.4.5.1.	<i>Área superficial de la unidad</i> .....	82
4.4.5.2.	<i>Dimensiones del sedimentador</i> .....	83
4.4.5.3.	<i>Velocidad horizontal</i> .....	84
4.4.5.4.	<i>Tiempo de retención</i> .....	84
4.4.5.5.	<i>Número de orificios</i> .....	85
4.4.5.6.	<i>Vertedero de salida</i> .....	86
4.4.6.	<b><i>Filtro lento de arena</i></b> .....	86
4.4.6.1.	<i>Número de unidades</i> .....	86
4.4.6.2.	<i>Coefficiente de mínimo de costo</i> .....	86
4.4.6.3.	<i>Área superficial</i> .....	87
4.4.6.4.	<i>Longitud de la unidad</i> .....	87
4.4.6.5.	<i>Ancho de la unidad</i> .....	87
4.4.6.6.	<i>Sistema de drenaje y distribución</i> .....	88
4.4.7.	<b><i>Reservorio</i></b> .....	89
4.5.	<b><i>Discusión de resultados</i></b> .....	90

## **CAPÍTULO V**

<b>5.</b>	<b>APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>95</b>
-----------	----------------------------------------------------	-----------

## **CAPÍTULO VI**

<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>102</b>
<b>6.1.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>102</b>
<b>6.2.</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>103</b>

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b>	Tipos de tratamiento de aguas residuales.....	9
<b>Tabla 2-2:</b>	Clasificación de las fuentes de agua de origen superficial, según la calidad bacteriana y el nivel de tratamiento recomendado.....	18
<b>Tabla 3-1:</b>	Características de las mediciones de caudal realizadas.....	28
<b>Tabla 3-2:</b>	Estándares para fuentes de calidad de agua cruda .....	30
<b>Tabla 3-3:</b>	Criterios de calidad para destinación del recurso para consumo humano y doméstico .....	31
<b>Tabla 3-4:</b>	Características consideradas para el floculador de flujo horizontal.....	42
<b>Tabla 4-1:</b>	Puntos de muestreo y sus coordenadas .....	53
<b>Tabla 4-2:</b>	Parámetros medidos para el cálculo de caudales de la Finca Luis Prado .....	54
<b>Tabla 4-3:</b>	Parámetros medidos para el cálculo de caudales de la Finca Herald Encarnación .....	54
<b>Tabla 4-4:</b>	Parámetros medidos para el cálculo de caudales en la Finca José Cuenca.....	55
<b>Tabla 4-5:</b>	Parámetros medidos para el cálculo de caudales en la Finca La Belleza.....	57
<b>Tabla 4-6:</b>	Estadísticos de los caudales medidos en la Finca Luis Prado .....	58
<b>Tabla 4-7:</b>	Estadísticos de los caudales medidos en la Finca Herald Encarnación.....	58
<b>Tabla 4-8:</b>	Estadísticos de los caudales medidos en la Finca José Cuenca .....	59
<b>Tabla 4-9:</b>	Estadísticos de los caudales medidos en la Finca La Belleza .....	59
<b>Tabla 4-10:</b>	Requerimiento de caudal para el riego de diversos cultivos .....	60
<b>Tabla 4-11:</b>	Resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua, de los puntos de muestreo en las fincas objeto de estudio .....	62
<b>Tabla 4-12:</b>	Parámetros dentro y fuera de los límites establecidos en el AM 097-A .....	63
<b>Tabla 4-13:</b>	Características del lecho filtrante .....	86
<b>Tabla 5-1:</b>	Dimensiones de cada sistema de la planta potabilizadora .....	95

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b>	Contaminantes presentes en las aguas subterráneas .....	7
<b>Ilustración 2-2:</b>	Sistemas de tratamiento de agua residual y de potabilización de agua .....	8
<b>Ilustración 3-1:</b>	Ubicación de las fincas de estudio en la Parroquia La Belleza .....	22
<b>Ilustración 3-2:</b>	Levantamiento de coordenadas .....	24
<b>Ilustración 3-3:</b>	Medición de caudal con el método volumétrico; con recipiente de 1 L (izquierda) y recipiente de 10 L (derecha) .....	25
<b>Ilustración 3-4:</b>	Medición de la sección longitudinal de 10 m.....	26
<b>Ilustración 3-5:</b>	Esquematzación de las mediciones en la sección transversal del cuerpo de agua .....	27
<b>Ilustración 3-6:</b>	Medición del ancho de la sección transversal .....	27
<b>Ilustración 3-7:</b>	Lanzamiento de flotador en la sección delimitada .....	28
<b>Ilustración 5-1:</b>	Planta potabilizadora de agua para uso agrosilvopastoril.....	98
<b>Ilustración 5-2:</b>	Sistemas de rejjas y desarenador .....	98
<b>Ilustración 5-3:</b>	Floculador en dos secciones .....	99
<b>Ilustración 5-4:</b>	Sedimentador.....	99
<b>Ilustración 5-5:</b>	Sedimentador – pozo de lodo .....	100
<b>Ilustración 5-6:</b>	Filtro lento .....	100
<b>Ilustración 5-7:</b>	Filtro lento-nivel de fondo.....	101

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** CRITERIO DE CALIDAD DE AGUAS PARA RIEGO AGRÍCOLA
- ANEXO B:** PARÁMETROS DE LOS NIVELES DE LA CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO
- ANEXO C:** CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA USO PECUARIO
- ANEXO D:** VALORES DE CAUDALES
- ANEXO E:** DATOS INGRESADOS EN CROPWAT
- ANEXO F:** CROPWAT RIEGO PLÁTANO
- ANEXO G:** CROPWAT RIEGO CACAO
- ANEXO H:** CROPWAT RIEGO CAFÉ
- ANEXO I:** CROPWAT RIEGO YUGA

## RESUMEN

El problema central abordado fue la contaminación del agua en Ecuador y otros lugares, con repercusiones directas en la calidad de los productos agrícolas y la salud pública. Vertimientos de agroquímicos, sedimentos y patógenos en el agua destinada a la agricultura impactan la seguridad alimentaria, generando brotes de enfermedades transmitidas por alimentos y agua. Para contrarrestar esta problemática, se propuso en este estudio el diseño de un sistema de tratamiento de aguas para producción agrosilvopastoril en la Estación Experimental La Belleza y su área circundante, perteneciente al cantón Francisco de Orellana. La investigación comenzó con la caracterización de la cantidad y calidad del agua en el proyecto, midiendo caudales y estableciendo puntos de muestreo en fuentes estratégicas de las cuatro fincas. Los análisis mostraron caudales promedio fluctuantes y concentraciones de cobre, hierro, pH y coliformes fecales que excedían los límites permitidos por las normativas ambientales. El caudal de diseño se determinó considerando el consumo máximo por tipo y etapa de cultivo, sumado al uso pecuario, con un factor de maximización del 25 por ciento, resultando en 0.003 m<sup>3</sup>/s y un diámetro de 8.3 m para el reservorio circular. Con estas consideraciones, se definió el tipo de tratamiento necesario para obtener agua conforme a los estándares de calidad para uso agrosilvopastoril. Las dimensiones del sistema de tratamiento, que incluye canal, rejillas, vertedero triangular, floculador de flujo horizontal, sedimentador filtro lento de arena y reservorios, fueron calculadas y modeladas. La elección cuidadosa de un sistema de tratamiento convencional se basó en criterios rigurosos, marcando un paso significativo hacia la garantía de la calidad del agua y estableciendo las bases para la implementación exitosa de prácticas de gestión hídrica en las áreas de estudio.

**Palabras clave:** <CONTAMIANCIÓN DEL AGUA>, <AGRICULTURA Y SEGURIDAD ALIMENTARIA>, <TRATAMIENTO DE AGUAS>, <ESTUDIO AGROSILVOPASTORIL>, <CALIDAD DEL AGUA>, <GESTIÓN HÍDRICA>.

*Cristian Tenelanda S*

Ing. Cristian Sebastian Tenelanda S.

0604686709



**0199-DBRA-UPT-2024**

## SUMMARY

The central problem addressed was water pollution in Ecuador and elsewhere, with direct repercussions on the quality of agricultural products and public health. Dumping of agrochemicals, sediments, and pathogens in agricultural water impacts food safety, generating outbreaks of food- and waterborne diseases. To counteract this problem, this study proposed the design of a water treatment system for agrosilvopastoral production at the La Belleza Experimental Station and its surrounding area, in the canton of Francisco de Orellana. The research began with the characterization of the quantity and quality of water in the project, measuring flow rates and establishing sampling points at strategic sources in the four farms. The analyses showed fluctuating average flows and concentrations of copper, iron, pH, and fecal coliforms that exceeded the limits allowed by environmental regulations. The design flow rate was determined considering the maximum consumption per crop type and stage, plus livestock use, with a maximization factor of 25 percent, resulting in 0.003 m<sup>3</sup>/s and a diameter of 8.3 m for the circular reservoir. With these considerations, the type of treatment necessary to obtain water in accordance with the quality standards for agrosilvopastoral use was defined. The dimensions of the treatment system, including channel, screens, triangular weir, horizontal flow flocculator, slow sand filter settler and reservoirs, were calculated and modeled. The careful choice of a conventional treatment system was based on rigorous criteria, marking a significant step towards water quality assurance and laying the foundation for the successful implementation of water management practices in the study areas.

Keywords: <WATER CONTAMINATION>, <AGRICULTURE AND FOOD SECURITY>, <WATER TREATMENT>, <AGROSILVOPASTORIL STUDY>, <WATER QUALITY>, <WATER MANAGEMENT >.



Erich Gonzalo Guaman Condoy M.Sc.

0704554484

## INTRODUCCIÓN

El agua dulce es un recurso precioso, pero escaso. De todos los recursos hídricos disponibles en el mundo, solo el 0,3% corresponden a agua dulce. La agricultura es una de las actividades que más demanda de agua. La producción de distintos cultivos, como el arroz, trigo y algodón, sobre utilizan las fuentes de agua (Tuninetti et al., 2019: p. 2474). En la ganadería, el agua es necesaria durante todas sus etapas, consumiendo abundantes cantidades de este recurso. Por ejemplo, en la industria cárnica se necesita agua durante sus actividades de procesamiento, maquinaria y equipos, así como en las áreas de procesamiento (Rojas et al., 2022: p.7).

El agua utilizada en las diversas actividades agropecuarias puede provenir de fuentes subterráneas, superficiales, incluyendo aguas residuales previamente tratadas. Factores de origen natural y antropogénico influyen en su disponibilidad. Los factores antropogénicos tienen un gran impacto en la calidad del agua, debido a procesos derivados de actividades agrícolas, industrialización, aguas residuales, entre otros. Mientras que el agua en fuentes naturales puede alterarse debido a procesos hidrológicos, geológicos y climáticos; los que a su vez modifican el pH, alcalinidad, concentraciones de fósforo, flúor, sulfatos y demás parámetros del suelo (Khatri y Tyagi, 2015; pp.30-34).

El uso de agua de mala calidad en la producción agropecuaria podría alterar la inocuidad de los alimentos (Arenas et al., 2017: p.322). En relación a la producción pecuaria existen reportes que indicarían que, la contaminación de productos como la leche o carne, se daría desde su producción (Arenas et al., 2017: p.322). Esto se debería al uso de agua con calidad deficiente, en actividades como limpieza de las instalaciones o lavado de utensilios; registrando la presencia de microorganismos como coliformes, *E. coli*, *Salmonella spp.* y *Staphylococcus coagulasa* positivo (Valdivia et al., 2020, p.270). Por otro lado, el riego de cultivos con agua de mala calidad podría alterar el suelo y tener efectos adversos en el desarrollo y rendimiento de los cultivos. Esto conduciría a problemas de calidad en la producción, alterando así la seguridad de los alimentos (Tomaz et al., 2020: p.364).

En este contexto, la gestión del agua juega un papel fundamental para mantener la seguridad alimentaria. Las tecnologías para su tratamiento permiten obtener agua de calidad, al remover contaminantes como metales pesados, materia orgánica e inorgánica, sustancias químicas y contaminantes microbianos (Abu et al., 2020: p.1). Los procesos para el tratamiento dependerán de una serie de factores, entre ellos se encuentran las características del agua cruda; entre los más comunes se encuentran la mezcla rápida, floculación, sedimentación y/o clarificación, filtración y desinfección (Vigneswaran et al., 2009: pp.2-3).

Por tal motivo, el presente trabajo de integración curricular se centró en el diseño de un sistema de tratamiento de agua, para uso en el ámbito agropecuario de la Estación Experimental La Belleza y su área de influencia. La finalidad de la propuesta de diseñar un sistema de depuración es garantizar la calidad de este recurso y con ello obtener productos de calidad. Esta propuesta beneficia de manera directa al área social y ambiental, en diferentes aspectos como mejorar la calidad del agua, optimizar el uso de este recurso y disminuir un porcentaje de enfermedades gastrointestinales en la producción y crianza de animales.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1. Planteamiento del problema

El agua contaminada constituye una amenaza para la calidad de productos agrícolas en varios países, debido a que es la responsable del vertimiento agroquímicos, materia orgánica, sedimentos y sales; los cuales contienen nitratos, metales, organismos patógenos del ganado, plaguicidas y contaminantes emergentes (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2018, p.1). Del total de agua que se extrae a nivel mundial, el 70% es utilizada en actividades agrícolas (Banco Mundial, 2022, p.2). Paralelamente, el agua natural empleada en actividades agrícolas, puede contener sustancias tóxicas para los seres vivos como los contaminantes orgánicos e inorgánicos (fertilizantes y metales pesados), así como minerales y microorganismos (Quinteros et al., 2019: p.47).

Las frutas y verduras pueden contaminarse antes de ser cosechadas, durante el riego, incluso en la post cosecha, en su lavado y empaquetado, debido al uso de agua contaminada (Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades, 2022, p.4). Estas frutas y verduras frescas, al ser consumidas sin desinfectar, pueden generar brotes de enfermedades por la presencia de patógenos como *Norovirus*, *Salmonella*, *E. coli* y *Campylobacter* (ELIKA, 2017, p.2). De igual manera los bovinos y otros animales, pueden adquirir patologías transmitidas por beber agua contaminada con restos fecales. Muchas de las cuales, como la campilobacteriosis, leptopirosis, salmonelosis, yersiniosis, son zoonóticas, es decir que pueden pasar desde los animales hacia los humanos (Contexto-Ganadero, 2019, p.1). Otros contaminantes, como los metales pesados, tienen la capacidad de biomagnificación en especies hidrobiológicas cultivadas, llegando a la cadena alimenticia e impactando negativamente a la salud de las personas que las consumen (Morales et al., 2022: pp.12-15).

En Ecuador, las aguas residuales de casi todas las ciudades son descargadas directamente en los cuerpos de agua, siendo su principal fuente de polución; a lo cual se suman las descargas provenientes de la minería artesanal, así como de actividades hidrocarburíferas y agricultura. El 82% del agua autorizada se emplea en actividades agropecuarias; de esta, el agua utilizada para riego agrícola incumple en un 53,3% los criterios de calidad para dicho fin (Secretaría del Agua y Agencia de Regulación y Control del Agua, 2016: pp.34-37). Acorde al Ministerio de Salud Pública (2023, pp.1-4), la tifoidea, paratifoidea, hepatitis A y shigelosis, son las enfermedades, más comunes, transmitidas por el agua y alimentos en Ecuador.

## **1.2. Justificación**

La contaminación del agua bien sea de origen natural o antropogénico, da como resultado un agua de baja calidad. Al no recibir un tratamiento adecuado y ser utilizada de manera directa en actividades agropecuarias, esta puede constituir una fuente de contaminación y un riesgo para la salud (OXFAM, 2022, pp. 1-5). En Ecuador, el incumplimiento de los parámetros de calidad del agua para riego agrícola y en otras actividades, es un indicativo de que el agua utilizada y aprovechada con dichos fines, requiere de tratamiento y así garantizar su calidad y la de los productos elaborados a partir de la misma, cumpliendo los requisitos establecidos en la normativa vigente.

Este trabajo de titulación se centrará en diseñar un sistema de tratamiento que permita mejorar la calidad de agua utilizada en el ámbito agropecuario de la finca La Belleza, del cantón Francisco de Orellana. Actualmente, esta finca no posee un sistema de recolección y depuración de agua, siendo utilizada de forma directa desde las fuentes naturales a su alrededor; además, en la finca se proyecta un crecimiento paulatino, de tal forma que se pretende garantizar que el agua consumida en sus instalaciones cumpla con estándares de calidad.

Para lo cual, se midieron los caudales de las fuentes de agua empleadas y se analizaron los resultados y diversos métodos de depuración de agua que podrían ser empleadas en la finca la Belleza, acoplándolos a las condiciones geográficas y climatológicas de la zona. Finalmente, se modeló el diseño seleccionado, de tal forma que sea la alternativa más pertinente con la que se puedan mejorar las condiciones y calidad del agua, a ser usada para la producción agrosilvopastoril en sus instalaciones.

## **1.3. Objetivos**

### ***1.3.1. Objetivo general***

Diseñar un sistema de tratamiento de aguas para producción agrosilvopastoril en la Estación Experimental La Belleza y su área de influencia, perteneciente al cantón Francisco de Orellana.

### ***1.3.2. Objetivos específicos***

- Medir los caudales de las fuentes de agua naturales cercanas a las áreas de estudio.
- Procesar los datos mediante el software estadístico SPSS para obtener medidas de dispersión.
- Seleccionar estratégicamente un sistema de tratamiento convencional.
- Modelar un sistema de tratamiento de aguas adecuado para la producción agrosilvopastoril.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Referencias teóricas

##### 2.1.1. *Producción agrosilvopastoril*

Se entiende por sistemas agrosilvopastoriles a un grupo de técnicas para el uso de la tierra que busca incrementar y diversificar la producción, obtener ventajas para el bienestar animal y prestar servicios ambientales. Involucra la asociación entre componentes leñoso, ya sea forestal o frutal, y ganadería y/o cultivos en el mismo sitio; entre los cuales deben desarrollarse interacciones a nivel ecológico y/o económico, o únicamente mediante interacciones biológicas. La producción agrosilvopastoril incluye árboles de pastura y forrajeros, pastura en bosques de regeneración natural, plantaciones agrícolas con cultivos y pasturas (Rodríguez et al., 2022: p.82).

Estos sistemas aplican varios principios de agroecología: transforman la energía solar en biomasa; fijación de nitrógeno; uso sostenible del agua; rehabilitación de suelos degradados; reciclaje de nutrientes; conservación y uso de la biodiversidad; reducción de la contaminación ambiental; y, manejo integrado de la salud animal (López et al., 2017: p.84).

##### 2.1.2. *Calidad del agua para uso agropecuario*

Una buena calidad del agua es fundamental para el desarrollo económico y sostenible en la producción agropecuaria. Los contaminantes de origen geogénico pueden estar presentes en las fuentes de agua, como las empleadas para riego, a lo cual se suma la deficiente potabilización del agua. Pueden convertirse en una fuente de contaminación microbiológica y un riesgo para la salud pública, pues alteran la inocuidad de los productos que la utilizan y generan enfermedades en la población que los consume (Malakar et al., 2019: p.8).

Para garantizar la calidad del agua en la industria agropecuaria, se debe considerar el cumplimiento de parámetros físicos, químico y biológicos, establecidos en normativas. Las fuentes de agua empleadas en aplicaciones agropecuarias incluyen aguas subterráneas, superficiales, residuales municipales e industriales debidamente tratadas. Las tecnologías para el tratamiento del agua utilizada para los mercados agropecuarios incluyen filtración, tratamiento

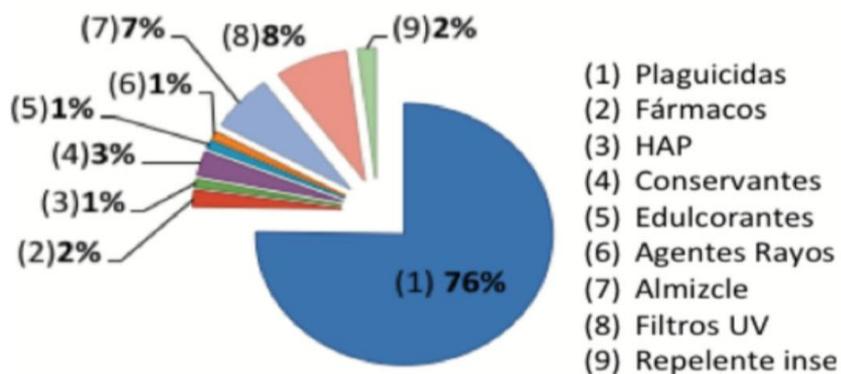
biológico, mezcla/aireación, ultrafiltración, ósmosis inversa y desinfección (Arenas et al., 2017: pp 3-7).

### 2.1.3. Calidad del agua en fuentes naturales

La calidad del agua dulce, en sistemas subterráneos y superficiales, en entornos rurales y urbanos se ve afectada por procesos naturales y antropogénicos. La meteorización de las rocas, evapotranspiración, deposiciones por el viento, lixiviación del suelo, escorrentía por factores hidrológicos y procesos biológicos en el medio acuático, son factores que pueden cambiar el pH, alcalinidad, carga de fósforo, aumento del flúor y altas concentraciones de sulfatos, en el agua (Garcés, 2021, p. 22).

Mientras que, los factores antropogénicos que alteran la calidad del agua incluyen impactos debido a la agricultura, uso de fertilizantes, abonos y pesticidas, crianza de animales, prácticas de riego ineficientes, deforestación de bosques, acuicultura, contaminación debido a efluentes industriales y aguas residuales domésticas, minería y actividades recreativas; siendo las responsables de elevar las concentraciones de metales pesados, mercurio, coliformes y cargas de nutrientes (Khatri y Tyagi, 2015: pp. 24-25).

El agua procedente de las regiones interandinas y tropicales mantiene altos niveles de calidad, debido a que atraviesa el suelo, en donde se dan diversos procesos de filtración natural. En los últimos años la calidad natural del agua no se mantiene, ocasionado por malas prácticas dentro de los sectores de industrialización y al incremento de la población, generando descargas (aguas residuales y grises). Se han identificado elementos contaminantes presentes diversos cuerpos de agua, tales como metales pesados, amoníaco, tensoactivos, entre otros varios tipos de sustancias (García et al., 2022: pp.122-124).



**Ilustración 2-1:** Contaminantes presentes en las aguas subterráneas

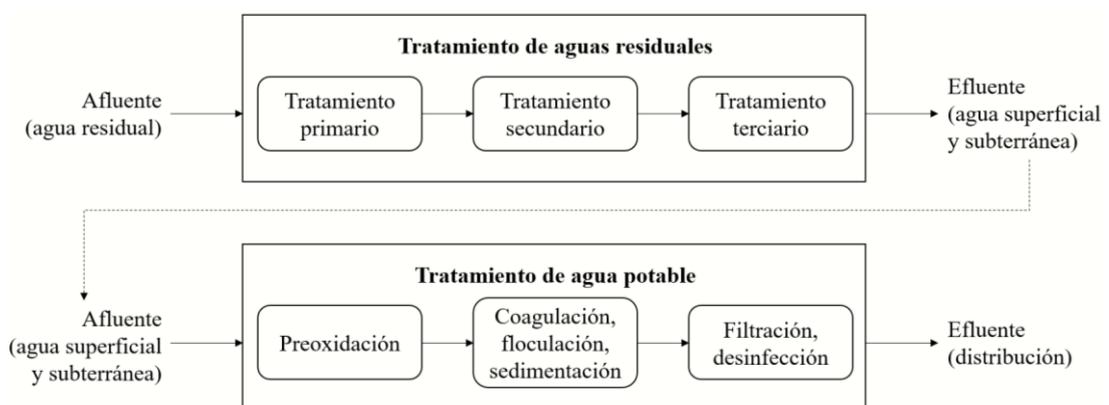
Fuente: Moradell y Renau, 2019: p.16.

El agua subterránea es un recurso limitado y es vulnerable ante factores ambientales y antropogénicos que pueden alterar su calidad. Dependiendo la ubicación geográfica, características edafológicas y la ausencia de fuentes antropogénicas, como descargas industriales o domésticas, prácticas agrícolas, los parámetros físicos, químicos y biológicos del agua subterránea pueden ser óptimos para el uso y consumo humano. Sin embargo, la zona no saturada no puede atenuar todos los contaminantes de la superficie, por lo que se da la contaminación de los acuíferos. Como se aprecia en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, los principales contaminantes de las aguas subterráneas son los plaguicidas (Moradell y Renau, 2019: pp.4-16).

La presencia de patógenos, como bacterias y virus, en los recursos hídricos son un indicativo de contaminación debido a inadecuados sistemas de saneamiento (letrinas con fugas, fosas sépticas) y la descarga de efluentes cloacales y aguas residuales sin tratamiento (Gunter et al., 2023: p.2).

#### 2.1.4. *Sistemas de tratamiento de agua*

Los sistemas de tratamiento de agua están constituidos por procesos unitarios que pueden incluir cribado, sedimentación, flotación, coagulación, filtración, adsorción, intercambio iónico, transferencia de gas, oxidación, reacciones biológicas y desinfección. El agua a tratar puede ser cualquiera, por ejemplo, fuentes naturales de agua (pozos, ríos, lagos y embalses), aguas residuales municipales o industriales, agua subterránea contaminada, agua salobre o agua de mar, como se esquematiza en la Ilustración 2-2. Su aplicación a escala real, con toda la indumentaria necesaria para su funcionamiento continuo, forman una planta de tratamiento de agua, cuya finalidad es efectuar cambios requeridos en la calidad del agua (Muralikrishna y Manickam, 2017: p. 209).



**Ilustración 2-2:** Sistemas de tratamiento de agua residual y de potabilización de agua

Fuente: Vela et al., 2017: p.152.

La combinación de operaciones y procesos unitarios, permiten brindar lo que se ha denominado tratamiento primario, secundario y terciario, en la Tabla se puede apreciar, con mayor profundidad, los tipos de tratamientos de agua residual, con base en una clasificación convencional. El tratamiento primario abarca procesos preliminares de depuración de carácter físico y químico, mientras que en el tratamiento secundario se da el tratamiento biológico de las aguas residuales. Finalmente, en los procesos de tratamiento terciario de las aguas residuales (tras pasar por procesos primarios y secundarios), se elimina hasta el 99% de los contaminantes, convirtiéndose en agua de buena calidad que se puede utilizar para diferentes propósitos, como consumo humano, industrial, medicinal, etc. En una planta de tratamiento de agua, completa, estos tres procesos se combinan para producir agua segura y de buena calidad (Kumar et al., 2012: pp.6380-6381).

**Tabla 2-1:** Tipos de tratamiento de aguas residuales

Tratamiento primario	Tratamiento secundario	Tratamiento terciario
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cribado</li> <li>• Sedimentación</li> <li>• Flotación</li> <li>• Separación de aceites</li> <li>• Homogenización</li> <li>• Neutralización</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lodos activados y sus modificaciones</li> <li>• Aireación prolongada</li> <li>• Estabilización por contacto</li> <li>• Lagunas de aireación</li> <li>• Estabilización por lagunaje</li> <li>• Filtros biológicos</li> <li>• Tratamientos anaerobios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Micro tamizado</li> <li>• Filtración</li> <li>• Precipitación y coagulación</li> <li>• Adsorción</li> <li>• Intercambio iónico</li> <li>• Ósmosis inversa</li> <li>• Electrodialisis</li> <li>• Cloración y ozonización</li> </ul>

Fuente: Ramalho, 2021, p. 9.

Realizado por: Meza, Kevin, 2023.

Por otro lado, la purificación del agua potable implica varias etapas de tratamiento, donde se elimina del agua cruda los sólidos en suspensión, color y bacterias, antes de ingresar a la red de distribución (Gil y Passino, 2004, pp.1-2). La aireación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, corrección de dureza, desinfección, cloración y tanques de almacenamiento, constituyen unidades de tratamiento en las plantas de tratamiento de agua potable (Arias et al., 2022: pp.42-43).

### **2.1.5. Sistemas convencionales para el tratamiento del agua**

De acuerdo con sus características los sistemas de tratamiento pueden ser convencionales, compactas y no convencionales. Los sistemas convencionales son construidos *in situ*, sus unidades se encuentran separadas por lo que es fácil reconocerlas, además están construidas en

materiales como el hormigón. Mientras que, los sistemas compactos son prefabricados, a pesar de que lucen como una sola unidad al interior existen compartimentos donde se desarrollan los procesos, están constituidas por materiales como láminas metálicas o fibra de vidrio. Los sistemas no convencionales, son aquellas tecnologías que resaltan por su fácil operación y mantenimiento, utilizadas principalmente en zonas rurales y lugares pequeños, basadas en la filtración (Lozano y Lozano, 2015: pp.23-24).

El tratamiento de agua convencional utiliza una combinación de procesos y operaciones físicas, químicas y biológicas (Pakharuddin et al., 2021: p.3). Estos sistemas pueden incluir diferentes procesos como el cribado, que busca eliminar partículas; coagulación/floculación, donde se forman flóculos y partículas grandes; sedimentación, con el objetivo de sedimentar y eliminar partículas/flóculos; filtración, que pretende lograr la eliminación de algas, sedimentos, arcilla, partículas orgánicas/inorgánicas y microorganismos, así como reducir la turbidez y disminuir la obstrucción de la membrana; y, desinfección, para inactivar microorganismos (Jain et al., 2014: p.58).

Dependiendo de la calidad del agua cruda y las impurezas presentes en ella, los procesos solos o en combinación con otros, forman parte de los esquemas de tratamiento para el suministro de agua. Los procesos de tratamiento de agua más comunes, utilizados para el tratamiento de agua cruda de una fuente superficial, son mezcla rápida, floculación, sedimentación y/o clarificación, filtración y desinfección. Las tecnologías convencionales para la mezcla incluyen los mezcladores hidráulicos y reactor mecánico de retro mezcla; en la floculación, esta puede ser de tipo hidráulico y mecánico; en la sedimentación, estas tecnologías abarcan la sedimentación de flujo horizontal rectangular; mientras que la filtración puede ser rápida con arena; y, la desinfección mediante cloración (Vigneswaran et al., 2009: pp.2-3).

#### ***2.1.6. Parámetros de calidad del agua***

La contaminación de agua deteriora su calidad y agota la biota acuática, poniendo en riesgo a la salud de la población humana; surgiendo así la necesidad de comprobar su calidad a intervalos regulares de tiempo. La calidad del agua puede ser descrita a través de parámetros físicos, químicos y biológicos (Gorde y Jadhav, 2013: p. 2029). Las características del agua de mar son prácticamente constantes, mientras que las características de las aguas superficiales y subterráneas varían en función de factores como la naturaleza de la zona de captación, tipo de suelo y, en el caso de los acuíferos, de la roca de confinamiento (Ibanez et al., 2008: p.3). Los parámetros físico-químicos del agua pueden monitorearse más rápido y con mayor frecuencia, permitiendo

comprender la naturaleza de las especies químicas y sus propiedades físicas (Samboni et al., 2007: p.173).

#### 2.1.6.1. Factores físicos

- **Turbidez**

La turbidez es un indicativo de contaminación, pues este parámetro revela la presencia de sustancias coloidales, orgánicas o minerales, suspendidas en el agua. Los niveles elevados de turbidez no solo reducen la transparencia del agua, sino que también estimulan el crecimiento bacteriano y las protege físicamente de la desinfección, incrementando la demanda de este tipo de sustancias (Martínez et al., 2020: p.16).

La remoción de la turbidez del agua requiere del uso de sustancias químicas como coagulantes, acondicionadores de pH, entre otros, los cuales incrementan los costos de producción. Este parámetro puede ser medido con un turbidímetro o nefelómetro, registrándose en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT) (Barrenechea, 2004, pp.5-6). La turbidez en el agua constituye un riesgo potencial para la salud pública, pues se ha asociado a enfermedades diarreicas (Martínez et al., 2020: p.16).

- **Sólidos suspendidos totales**

Los sólidos suspendidos totales (SST) se definen como la medida del contenido de las sustancias orgánicas e inorgánicas disueltas en el agua. Este parámetro permite estudiar la calidad del agua de los cuerpos de agua, siendo un indicativo de sus características estéticas pues su presencia causa turbidez y sedimentos en el agua (Hussain, 2019, pp.3-4). Los SST se determinan a través del método gravimétrico, siendo la cantidad de material particulado que se queda retenido tras filtrar una muestra de agua (superficial y/o residual), empleando un filtro de fibra de vidrio con un tamaño de poro nominal de 0,45 micras (Hernández, 2007, pp.5-7).

- **Sólidos disueltos totales**

Los sólidos disueltos totales o TDS por sus siglas en inglés (Total Dissolved Solids), es la materia sólida menor a 2  $\mu\text{m}$  contenidas en una muestra de agua, formada por la suma del total de minerales, metales y sales disueltas. Este contaminante secundario es un buen indicador de la

calidad del agua, su presencia proporciona una apariencia turbia y disminuye su sabor (Sigler y Bauder, 2017: p.1).

Los TDS corresponden a las sustancias resultantes, bajo condiciones determinadas, luego de filtrar y evaporar a sequedad una muestra (Fong Silva et al., 2015: p.21). Está directamente relacionada con la conductividad eléctrica, se mide en partes por millón (ppm) o miligramos por litro (mg/L) (Raola y Pérez, 2020: p.143). Debido a esta relación, el equipo medidor de TDS permite conocer la concentración de TDS a través de la medición directa de la conductividad de la muestra (Chacón, 2017, p.91).

- **Conductibilidad**

La conductibilidad otorga una evaluación preliminar de las cargas totales de iones que se encuentran disueltos en el agua. Permite expresar de manera numérica la capacidad de una solución acuosa para transportar corriente eléctrica; esta capacidad depende de la presencia y concentración total de iones, así como de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, además de la temperatura del líquido (Gorde y Jadhav, 2013: p. 2033).

Este parámetro es fácilmente medible en campo, pudiendo realizar mediciones acertadas y estables en el tiempo, en la mayoría de las muestras. Se mide con ayuda de un conductímetro, este equipo de medición consta de un electrodo y se basa en la diferencia de potencial entre sus placas metálicas, registrando los valores en micro Siemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) o mili Siemens por centímetro ( $\text{mS}/\text{cm}$ ) (Cárdenas, 2022, pp.107-110).

- **Salinidad**

La salinidad del agua es el contenido de las sales presentes, las más frecuentes en el agua son cloruro de sodio, sulfato de magnesio, potasio y bicarbonato de sodio (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y Centro-EULA, 2021: p.6). Altas concentraciones de salinidad causan alteraciones en la calidad del agua y afecta la producción agrícola y agropecuaria (Tartabull y Betancourt, 2016: pp.50-51).

La salinidad se relaciona de forma directa con la conductividad, por lo que una de las maneras más precisas para medir la conductividad es a través de esta mediante un salinómetro moderno. Otros métodos para su cuantificación son el refractómetro de mano o en laboratorio con una valoración por clorinidad (Hernández, 2015, p.3).

### 2.1.6.2. Factores químicos

- **Potencial de hidrógeno**

El potencial de hidrógeno (pH) mide qué tan ácida/básica es el agua; un agua ácida contiene iones de hidrógeno adicionales y la básica contiene iones de hidroxilo adicionales. Su medición corresponde al logaritmo negativo de la concentración de iones de hidrógeno, por lo que su escala es logarítmica y varía de 0 a 14. El agua pura es neutra, correspondiéndole un pH de 7; el agua ácida posee un pH inferior a 7,0; mientras que, el agua básica o alcalina tiene un pH superior a 7,0 (Omer, 2019, p.6).

Si bien el pH no afecta de manera directa la salud, este parámetro influye en procesos como la coagulación y desinfección del agua. El pH debe ser medido in situ debido a que, los gases disueltos en el agua pueden alterarse, en el transporte hacia el laboratorio, además de que es sensible a cambios de temperatura y presión. El método más simple para conocer el pH de una muestra de agua es por medio de papel tornasol, el cual cambiará de color en función del pH. El método con mayor exactitud y ampliamente usado es a través de un medidor de pH, también conocido como pH metro; este instrumento se basa en una corriente eléctrica, generada por electrodos, la que dependerá de la concentración de iones hidrógeno (Ovalle y Moreno, 2014: pp.22-25).

- **Dureza**

La dureza hace referencia al agua altamente mineralizada, debido a la presencia de sales que pueden precipitar en el agua, como las de calcio, magnesio, hierro, aluminio y otros metales. Los iones de calcio y magnesio producen mayoritariamente la dureza de las aguas naturales. Estas sales ingresan al agua a través del contacto con el suelo y la roca, como los depósitos de piedra caliza. Se distinguen dos tipos de durezas: dureza natural, eliminable por ebullición, ocasionada por carbonatos y bicarbonatos; dureza permanente, es la que queda tras la ebullición, se debe a los sulfatos y cloruros (Summers, 2020, p.11).

Si la dureza se encuentra por debajo de 100 mg/L, el agua se considera blanda; entre 100 y 200 mg/L, medianamente dura; y, entre 200 y 300 mg/L, se la considera dura (Barrenechea, 2004, pp.29-30). La dureza puede cuantificarse a través de titulación con ácido etilendiaminotetraácido (EDTA) e indicadores Eriochrome Black y Blue (Ovalle y Moreno, 2014: p. 59-62).

- **Demanda bioquímica de oxígeno**

La demanda bioquímica o biológica de oxígeno (DBO), se refiere a la cantidad total de oxígeno requerida para la degradación biológica de compuestos orgánicos, presentes en el agua. La DBO es un indicador de la calidad del agua superficial y residual (Martínez, 2019, p. 152). Este parámetro, expresado en mg/L, se obtiene al determinar el oxígeno inicial de una muestra y lo restante tras 5 días en una muestra igual, la diferencia entre ellas corresponderá a la DBO<sub>5</sub>, haciendo referencia al oxígeno consumido por los microorganismos durante ese tiempo (Raffo y Ruiz, 2014: p.76).

- **Demanda química de oxígeno**

La demanda química de oxígeno (DQO), es el oxígeno consumido para oxidar químicamente los contaminantes orgánicos hacia sustancias finales inorgánicas. En la DQO no se considera la intervención de los organismos vivos (Ramos, 2018, p.69). La DBO representa el grado de contaminación orgánica en los cuerpos de agua, por lo que es un buen parámetro para evaluar su calidad (Li et al., 2018: p.3).

Entre los métodos convencionales para determinar la DQO se encuentra el método del dicromato y el método del índice de permanganato (Han et al., 2022: p. 3003). El método por dicromato es mayormente usado para calcular la calidad en cuerpos de agua con contaminación moderada o fuerte, mientras que el método por permanganato, en cuerpos de agua limpios (Li et al., 2018: pp.3-4). Actualmente, existen métodos y tecnologías nuevos para estimar la DBO, como por ejemplo el método asistido por microondas, métodos electro oxidativos y foto oxidativos basados en procesos de oxidación avanzados (Li et al., 2018: p. 8).

- **Nitritos y nitratos**

Los nitritos y nitratos, junto al nitrógeno orgánico y amoniacal, son las formas en las que el nitrógeno se encuentra en el agua (Summers, 2020, p. 11). En la naturaleza, el nitrógeno orgánico amoniacal se oxida al entrar en contacto con el oxígeno disuelto, transformándose en nitratos y nitritos. Los nitratos se transforman, por acción bacteriana, en nitritos; los nitritos predominan en aguas con baja oxigenación, sin embargo, por su reactividad de los nitritos se transforman con facilidad en nitratos, predominando en aguas superficiales y subterráneas (Barrenechea, 2004, p p. 39).

Los nitratos y nitritos pueden llegar a contaminar las aguas superficiales y subterráneas, debido a los fertilizantes químicos empleados en la agricultura, desechos vegetales y animales, así como

de las descargas de aguas residuales sin tratamiento previo. Altas concentraciones de nitrato en aguas superficiales, estimula el desarrollo de algas, disminuyendo su calidad (Summers, 2020, p p. 11).

Entre los métodos para cuantificar nitritos y nitratos presentes en el agua se encuentra la cromatografía iónica, cromatografía líquida de alta presión, electroforesis capilar o detección colorimétrica. Esta última, mide por espectrofotometría un compuesto generado a partir de la reacción de los nitritos con sulfanilamida y 1-naftiletildiamina (Cabrera et al., 2003, p. 87).

- **Oxígeno disuelto**

Este parámetro hace referencia a la forma gaseosa disuelta del oxígeno. El oxígeno disuelto (OD) es un factor importante a ser medido en el agua, debido a que es un indicador del efecto de los contaminantes oxidables, de su aptitud para mantener vida acuática y de la capacidad de autodepuración de los cuerpos de agua. Este parámetro está vinculado inversamente con la salinidad, temperatura y altitud sobre el nivel del mar, además de que afecta las reacciones en las que intervienen el hierro, manganeso, cobre y compuestos de nitrógeno y azufre (Jiménez, 2001, p. 133).

Su baja concentración ocasiona malos olores, pues supone la descomposición anaerobia de la materia orgánica; caso contrario, concentraciones elevadas de oxígeno disuelto genera corrosión en los sistemas de abastecimiento. La medición de las concentraciones de OD, se puede realizar, principalmente, por el método colorimétrico, método de titulación de Winkler y el método electrométrico (Summers, 2020, p. 13).

#### *2.1.6.3. Factores biológicos*

- **Coliformes fecales**

La presencia de coliformes fecales es un indicador de contaminación en el agua, por la existencia de excremento de origen animal o descargas de alcantarillado; pudiendo causar enfermedades al ser humano y animales de granja. Se ha identificado que el agua que utilizan ciertas industrias agropecuarias es de mala calidad, pues se ha reportado la presencia de estos organismos (Jordán et al., 2017: pp. 4-5).

Las pruebas para su detección pueden detectar cantidades bajas y son relativamente simples de ejecutar (Brandt et al., 2017: p. 291). Existen varias tecnologías que permiten detectar contaminación microbiana en agua potable. Entre estas se incluyen técnicas tradicionales de laboratorio y técnicas de detección molecular, biosensores (subcategorizados en métodos electroquímicos y métodos ópticos), técnicas de detección óptica y fluorescencia (Gunter et al., 2023: p. 3).

- **Coliformes totales**

Los Coliformes Totales son un grupo de bacterias que se hallan de manera directa en el Ecosistema, comúnmente se las encuentra en el suelo y en aguas superficiales, Al tener contacto con efluentes (ríos) tienden a propagarse de manera rápida. No obstante, su presencia en cantidades mínimas no indica esencialmente contaminación fecal, pero a niveles elevados en el agua ocasionan enfermedades y llegan a contaminar cultivos y afectar de manera paulatina al sector agrícola y agropecuario (Urseler et al., 2019: p. 840).

- **E. coli**

La *E. coli* es un indicador microbiológico puntual de la contaminación fecal, presente en el agua de mala calidad para el consumo humano y agrícola. Niveles altos de *E. coli* en agua, causa enfermedades gastrointestinales que, dependiendo de la gravedad, pueden ser mortales. De forma directa la *E. coli* se encuentra en productos que son generados en las industrias agrícolas (hortalizas y vegetales) y agropecuarias (toda producción en masa de alimentos) por el uso de agua no tratada. La unidad de medida de la *E. coli* es Unidades Formadoras de Colonias (UFC) (Jordán et al., 2017: pp. 8-9).

La espectroscopia de fluorescencia está siendo estudiada pues tiene el potencial para ser una tecnología de detección en tiempo real de *E. coli*, sin embargo, este método necesita de validaciones lo que limitaría su uso (Gunter et al., 2023: p. 13).

#### 2.1.6.4. Metales totales

- **Arsénico**

El arsénico (As) es un elemento químico que ocurre naturalmente y está comúnmente presente en la corteza terrestre en muchas formaciones geológicas de todo el mundo y se ha descubierto que es una fuente importante de contaminación de las aguas subterráneas en algunos países. Esta

forma de contaminación representa una seria amenaza para la salud, la economía y el bienestar social, particularmente en países subdesarrollados y comunidades remotas. Cuando está presente en altas concentraciones en el agua potable, se ha descubierto que el arsénico afecta negativamente a la salud humana (Adeloju et al., 2021: pp. 2-3).

- **Cadmio**

El cadmio (Cd) es un metal pesado tóxico, utilizado en baterías de Ni-Cd, coloración del plástico y varios productos electrónicos, que al ser desechados se liberan en el agua. La exposición crónica a Cd produce efectos agudos y crónicos en humanos, acumulándose en el cuerpo, especialmente en los riñones, lo que provoca daño renal (daño tubular renal). La exposición al Cd también genera alteraciones en el metabolismo del calcio, hipercalciuria y formación de cálculos renales. La alta exposición a Cd puede provocar cáncer de pulmón y cáncer de próstata; por lo tanto, el agua de mala calidad que puede resultar en toxicidad por Cd es de preocupación mundial (Idrees et al., 2018: p. 1365).

- **Cobre**

El cobre (Cu) es un elemento natural ampliamente distribuido y micronutriente esencial que sirve como componente fundamental de proteínas y metaloenzimas humanas, además está presente en el ambiente en diferentes estados de valencia y complejos. En los ríos, el cobre generalmente se adsorbe en partículas insolubles o forma complejos con ligandos inorgánicos. En el agua potable, el cobre generalmente está libre en solución (National Research Council, 2000, p. 12).

Las actividades humanas pueden liberar cobre al medio ambiente, especialmente a la tierra. Las principales fuentes de liberación de cobre son las operaciones mineras e incineración. La liberación al agua se produce por la erosión del suelo, descargas industriales, plantas de tratamiento de aguas residuales y pinturas antiincrustantes. Las concentraciones de cobre en el agua potable pueden aumentar considerablemente durante la distribución del agua potable, pues muchas tuberías y accesorios de plomería contienen cobre, que puede filtrarse en el agua potable (Manne et al., 2022: p. 27).

La ingesta de cobre en altas concentraciones puede causar problemas de salud agudos, como trastornos gastrointestinales, problemas del sistema nervioso central, irritación de las mucosas, enfermedad de Wilson, daño hepático y renal, daño capilar generalizado, daño hepático y renal,

etc. Por otro lado, una menor concentración de iones de cobre en el agua potable brinda beneficios para la salud (Manne et al., 2022: p. 27).

- **Hierro**

El hierro (Fe) es el cuarto elemento más abundante. Es un elemento esencial para la hemoglobina, mioglobina y una serie de enzimas, su deficiencia provoca anemia y pérdida de bienestar. Su sobrecarga provoca graves problemas de salud en los seres humanos, como cáncer de hígado, diabetes, cirrosis hepática, enfermedades cardíacas e infertilidad, etc. La contaminación del agua por hierro puede ser geogénica o a través de efluentes industriales y desechos domésticos. La presencia de concentraciones más altas de hierro cambia el color, sabor y olor del agua, dejando manchas en la ropa y corroe tuberías de agua (Kumar et al., 2017: p. 45).

- **Mercurio**

El mercurio (Hg) se encuentra en el medio ambiente natural. Es un componente de los minerales, en bajas concentraciones no representa una amenaza significativa para los organismos vivos. Sin embargo, debido a la actividad humana se liberan grandes cantidades de mercurio al medio ambiente, que pueden permanecer allí durante muchos años. El mercurio contenido en el agua y los sedimentos, es altamente tóxico y puede ser absorbido por los animales, ingresando así en la cadena alimentaria humana (Jabłońska y Kluska, 2020: pp. 626-627).

### 2.1.7. *Proceso de tratamiento*

Los posibles métodos de diseño, para el proceso de tratamiento del agua, pueden establecerse en función de su composición. Por ejemplo, la Organización Mundial de la Salud, en 1993, propuso los métodos de tratamiento del agua en función de los niveles de contaminación fecal para fuentes de agua subterránea y superficial (Brandt et al., 2017: p. 276).

**Tabla 2-2:** Clasificación de las fuentes de agua de origen superficial, según la calidad bacteriana y el nivel de tratamiento recomendado

<b>Fuente</b>	<b>Nivel de contaminación</b>	<b>Tratamiento</b>
Agua embalsada protegida	Esencialmente libre de contaminación fecal <i>E. coli</i> ≤ 20/100 ml	Desinfección

Agua de montaña embalsada sin protección o de río de montaña	Contaminación fecal <i>E. coli</i> 20-2000/100 ml	Filtración y desinfección
Río de tierras bajas sin protección	Contaminación fecal <i>E. coli</i> 200-20000/100 ml	Almacenamiento a largo plazo o predesinfección, filtración, tratamiento adicional y desinfección

**Fuente:** Brandt et al., 2017: pp. 277.

**Realizado por:** Meza, Kevin, 2023.

#### 2.1.7.1. Pretratamiento

De acuerdo con Huesa (2023, pp. 1-2) el pretratamiento se refiere a los procesos mecánicos y físicos que permiten separar los sólidos de mayor tamaño del agua, los que pueden ser:

- Desbaste: compuesto por rejas verticales, dispuestas a una distancia de 10 a 25 mm (desbaste medio) y de 3 a 10 mm (desbaste fino).
- Tamizado: está formado por mallas filtrantes, que tienen un paso por debajo de los 3 mm.
- Desarenado: es un canal troncocónico (favorece la sedimentación), donde se presentan velocidades bajas de paso del agua permitiendo la decantación de arenas (Huesa, 2023, pp. 1-2).

#### 2.1.7.2. Coagulación-floculación

La coagulación y floculación buscan mejorar la decantación de las partículas de tamaño coloidal, cuya sedimentación requiere tiempos de retención hidráulica demasiado altos. Pueden encontrarse en suspensión, disueltas, suspensiones concentradas, suspensiones finas y coloides. Las sustancias suspendidas, presentes en el agua cruda, son de tamaño pequeño y de carga negativa. Esta carga hace que las sustancias se repelan, dificultando su sedimentación, por lo que se busca neutralizar esas cargas y aglomerar las partículas, originando flóculos que, debido a la gravedad, decantan (Mazille y Shuhler, 2018, pp. 1-3).

#### 2.1.7.3. Decantación

Se refiere al paso del agua a muy baja velocidad, permitiendo la sedimentación de material de tamaño coloidal debido a la acción de la gravedad. La recomendación para su diseño es de una unidad de forma rectangular que, en el fondo, disponga de cierta inclinación central; así, logrando remover las partículas (Flores, 2017, pp. 1).

#### *2.1.7.4. Filtración*

Generalmente, la arena es el medio filtrante, a través de la cual se atrapan las partículas que aún están suspendidas en el agua. La velocidad del paso de agua es un factor que también influye en la eficiencia de este proceso. Cuando luego de esta filtración se presenta turbidez en el agua o en el caso de requerir remover contaminantes específicos, será necesario un proceso de filtración avanzada (Bruni y Spuhler, 2018, p. 2).

#### *2.1.7.5. Filtración avanzada*

Esta filtración puede realizarse usando filtros de carbón activado o con membrana. Por un lado, el carbón activado es altamente poroso; debido a su alta capacidad de adsorción, las partículas se quedan adheridas en su superficie. Mientras que, en el caso de las membranas, estas poseen un tamaño de paso muy pequeño, demandando de presión para que el agua pueda atravesar la membrana y así se dé la filtración de partículas (Agudelo et al., 2019, pp. 26-30).

#### *2.1.7.6. Oxidación-desinfección*

Durante la desinfección del agua se elimina la actividad biológica presente, impidiendo el desarrollo de los microorganismos. Este proceso se logra al aplicar un oxidante fuerte como el cloro u ozono, sin embargo, también se puede emplear permanganato de potasio y luz ultravioleta (Carbotecnia, 2023, pp. 1-5).

#### **2.1.8. Acuerdo Ministerial 097-A**

El Acuerdo Ministerial 097-A, expedido el 30 de julio de 2015, establece principios para el control de la contaminación del agua, criterios de calidad para sus diversos usos, límites permisibles, consideraciones para descargas en cuerpos de agua o alcantarillado, parámetros de monitoreo, métodos y procedimientos para determinar parámetros. En cuanto a los usos del agua este AM refiere para consumo humano y uso doméstico, preservación de la vida acuática y silvestre, uso agrícola o de riego, uso pecuario, recreativo y estético (Ministerio del Ambiente, 2015, pp.1-8).

Esta norma establece los criterios de calidad de aguas de uso agrícola o de riego, entendiendo a las mismas como aquellas que es empleada para la irrigación de cultivos y otras actividades conexas. Además, prohíbe el uso de aguas servidas para riego, excepto por las aguas servidas

tratadas y que cumplan con ciertos niveles de calidad. Los criterios de calidad admisibles y los parámetros de los niveles de calidad para las aguas destinadas a riego agrícola se presentan en la TABLA 3 y TABLA 4 (Anexo A y B) de la norma, las cuales son transcritas a continuación. Los criterios de calidad para aguas de uso pecuario también son descritos en dicho acuerdo en la TABLA 5 (Anexo C). Se entiende por aguas de uso pecuario a aquellas que están destinadas a abrevadero de animales y demás definidas por los organismos competentes (Ministerio del Ambiente, 2015, pp. 13-16).

### **2.1.9. Georreferenciación de un área**

La georreferenciación es el proceso de transmitir coordenadas reales a los datos espaciales. Permite asignar coordenadas a los píxeles de las imágenes rasterizadas. Su importancia radica en que ayuda a determinar cómo las áreas de una imagen se corresponden con la superficie; debido a que cuando se conocen las coordenadas de los puntos que se dan en las imágenes, es posible hacer coincidir estos puntos con los de los gráficos (ArcGIS Resources, 2023, pp. 1-3).

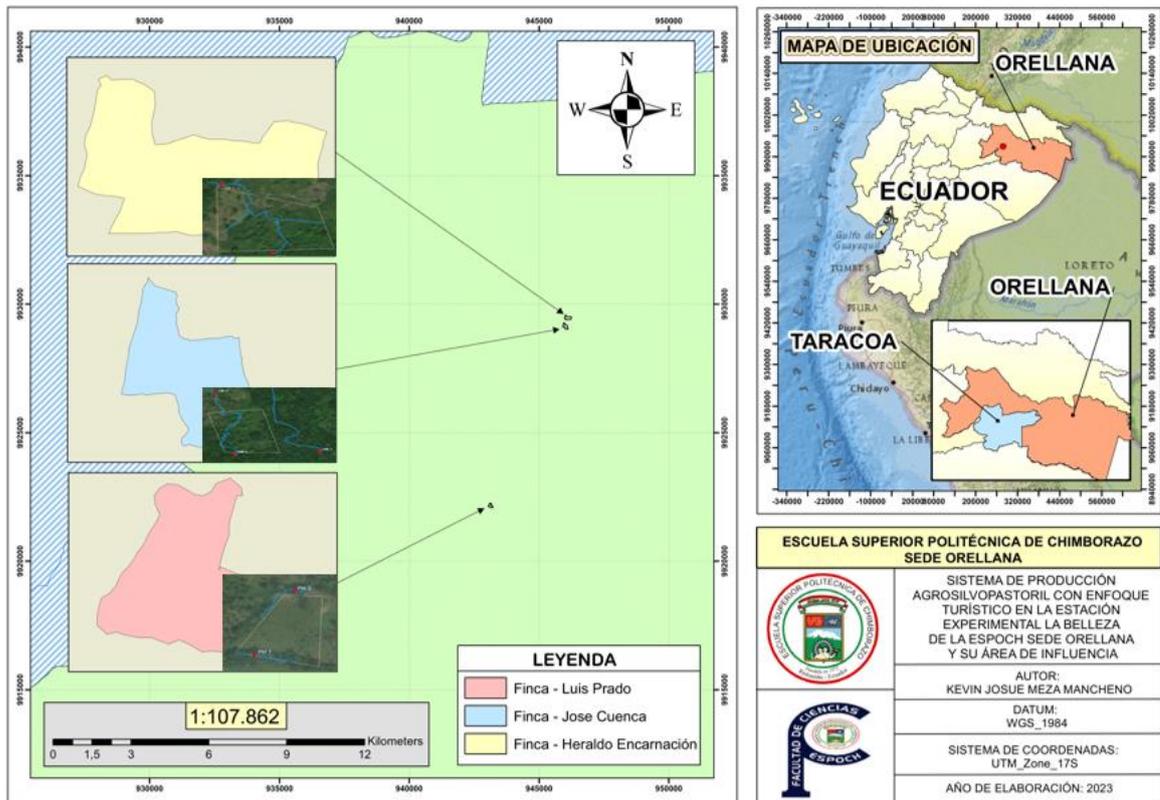
## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Área de estudio

##### 3.1.1. Ubicación y extensión

Las fincas que forman parte del Proyecto Agrosilvopastoril se sitúan en la parroquia la Belleza y son: Luis Prado, Heraldo Encarnación, José Cuenca y La Belleza, como se aprecia en la Ilustración 3-1. La parroquia La Belleza está situada en el cantón Francisco de Orellana, provincia de Orellana. Esta parroquia se encuentra ubicada en el Km 25 de la vía a los Zorros. Limita al norte con la parroquia García Moreno, al sur con la parroquia Inés Arango y el cantón Tena (Provincia de Napo), al este con el cantón Dayuma y al oeste con el cantón Loreto y Provincia de Napo.



**Ilustración 3-1:** Ubicación de las fincas de estudio en la Parroquia La Belleza

Realizado por: Meza, Kevin, 2023.

Dentro de las 44 ha de la finca Luis Prado, 31 ha sirven para el desarrollo de actividades pecuarias, las que incluyen aves de corral y ganado vacuno; 8.5 ha para actividades agrícolas, como plantaciones de café, cacao y piña; y, las 4.5 ha restantes no se encuentran intervenidas. La finca Heraldo encarnación dispone de 34 ha, de las cuales 18 ha sirven para actividades pecuarias como crianza de cerdos, aves de corral y ganado vacuno; 12 ha donde no existe intervención humana; y, 4 ha para el desarrollo de actividades agrícolas, como el cultivo de café y cacao. En las 48 ha de la finca José Cuenca, 24 ha sirven para actividades agrícolas como el cultivo de café piña, caña de azúcar y cacao; 19 ha para actividades pecuarias vinculadas a la crianza de cerdos, aves de corral y ganado vacuno; las 5 ha restantes no se encuentran intervenidas. Finalmente, la finca La Belleza dispone de 32 ha en total, las actividades agrícolas y pecuarias se ejecutan en 1 ha; se prevé el desarrollo de piscicultura ya que posee 2 piscinas para ello; en 22 ha no existe intervención.

Sin embargo, como parte del proyecto agrosilvopastoril de interés para este trabajo, del cual las cuatro fincas forman parte, se han destinado 3 ha de cada una, exclusivamente para el cultivo de yuca, plátano, cacao, café, entre otros. De igual manera, como parte del proyecto cada finca criará 20 bovinos (vacas y toros), los que podrían estar destinados a la producción de leche.

### **3.2. Georreferenciación del área de estudio**

Se recorrieron los predios de las fincas de estudio, identificando las 3 ha de cada una que forman parte del proyecto agrosilvopastoril. Para la georreferenciación de los puntos se empleó el GPS Montana 680 de la marca Garmin y se procedió de la siguiente manera:

- 1) Recorrido e identificación del área.
- 2) Selección de puntos y levantamiento de sus coordenadas (Ilustración 3-2).
- 3) Guardado de las coordenadas en la memoria del dispositivo.
- 4) Ingreso de las coordenadas en el software ArcGIS.
- 5) Creación de los planos perimétricos de cada finca.



**Ilustración 3-2:** Levantamiento de coordenadas

**Realizado por:** Meza, Kevin, 2023.

### **3.3. Medición de caudales**

La medición del caudal de los cuerpos de agua para su uso agropecuario, de las fincas que forman parte del proyecto agrosilvopastoril, se realizó mediante el método volumétrico y método de flotadores, a partir de lo propuesto por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (Chamorro, 2011, p. 4), métodos que son descritos en los siguientes puntos.

#### **3.3.1. Método volumétrico**

Este método se utilizó en una caída de agua, en la cual se puede interponer un recipiente impermeable de volumen conocido (botella de 1 L y balde de 10 L), como se visualiza en Ilustración 3-3; con ayuda de un cronómetro se registró el tiempo de llenado. Una vez conocidos el volumen y tiempo de llenado, a través de cálculos con la ecuación descrita a continuación, pueden obtenerse el caudal.



**Ilustración 3-3:** Medición de caudal con el método volumétrico; con recipiente de 1L (izquierda) y recipiente de 10 L (derecha)

Realizado por: Meza, Kevin, 2023.

Cabe mencionar que este método fue escogido por ser práctico, pues los caudales medidos fueron pequeños, permitiendo tener así una idea rápida del caudal aportado por los cuerpos de agua analizados. El cálculo del caudal se realizó con la fórmula:

$$Q = \frac{V}{t}$$

**Ecuación 3-1.**

Donde:

Q: caudal de agua (L/s)

V: volumen (L)

t: tiempo (s)

### 3.3.2. Método de flotadores

Con este método se calculó el caudal, considerando las velocidades superficiales de la corriente del cuerpo de agua, utilizando flotadores, fácilmente visibles. Empleando la siguiente fórmula:

$$Q = A \times v_m$$

**Ecuación 3-2.**

Donde:

Q: caudal de agua ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

A: área de la sección transversal ( $\text{m}^2$ )

$v_m$ : velocidad media del agua ( $\text{m}/\text{s}$ ).

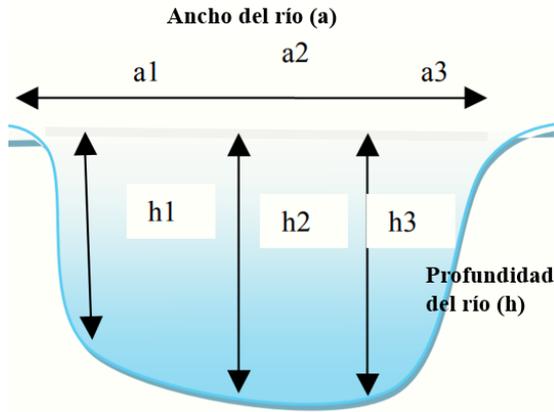
Como primer paso, se seleccionó una sección longitudinal recta y sin obstáculos del cauce de agua de 10 m, registrando su longitud con ayuda de un flexómetro, tal y como se aprecia en la Ilustración 3-4.



**Ilustración 3-4:** Medición de la sección longitudinal de 10 m

Realizado por: Meza, Kevin, 2023.

Luego, como se ilustra en la Ilustración 3-5 e ilustración 3-6, en una sección transversal de este se midió su ancho ( $a$ ), dividiéndolo en tres partes ( $a_1$ ,  $a_2$  y  $a_3$ ); con ayuda de una varilla se midieron sus respectivas profundidades ( $h_1$ ,  $h_2$  y  $h_3$ ); la altura o profundidad promedio ( $h_p$ ) correspondió al promedio de esas tres mediciones.



**Ilustración 3-5:** Esquematación de las mediciones en la sección transversal del cuerpo de agua

Fuente: Chamorro, 2011, p. 11.



**Ilustración 3-6:** Medición del ancho de la sección transversal

Realizado por: Meza, Kevin, 2023.

El área de la sección transversal del cuerpo de agua ( $A$ ), se obtuvo al multiplicar el ancho de la sección transversal ( $a$ ) y la altura media del cauce, a través de:

$$A = h_p \times a$$

**Ecuación 3-3.**

Donde:

$A$ : área de la sección ( $m^2$ )

$h_p$ : profundidad promedio (m)

$a$ : ancho del río (m)

Se lanzaron los flotadores en las secciones previamente delimitadas, tal como se aprecia en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.-3**, repitiendo el proceso en intervalos regulares de tiempo y registrando con exactitud esta medida, con ayuda de un cronómetro. Con esta información recopilada, fue posible determinar la velocidad superficial ( $v_s$ ).

$$v_s = \frac{d}{t_p}$$

**Ecuación 3-4.**

Donde:

$v_s$ : velocidad superficial (m/s)

$d$ : distancia recorrida del flotador (m)

$t_p$ : tiempo promedio que recorren los flotadores en la distancia determinada (s)



**Ilustración 3-7:** Lanzamiento de flotador en la sección delimitada

Realizado por: Meza, Kevin, 2023.

Sin embargo, la velocidad superficial debe ser corregida con ayuda de un coeficiente, dependiendo de si el cauce es natural pequeño o grande, el coeficiente puede variar entre 0.75 y 0.90. La velocidad media ( $v_m$ ) corresponde a la velocidad, corregida, del flujo de agua en cada sección. En este trabajo se utilizó 0.75 como coeficiente, debido a que se trata de cauces naturales pequeños (Chamorro, 2011, pp. 8-12).

Una vez conocidas la velocidad media y el área de la sección transversal, fue posible estimar el caudal. Acorde a las características individuales de los diferentes cuerpos de agua, se realizaron mediciones con uno u otro de los métodos descritos previamente, esta información y otra relevante se detalla en la Tabla 3-1.

**Tabla 3-1:** Características de las mediciones de caudal realizadas

Nombre de la finca	Número de puntos	Codificación	Número de mediciones	Número de repeticiones	Método utilizado
Luis Prado	2	FLP P <sub>1</sub>	3	30	Volumétrico
		FLP P <sub>2</sub>	3	30	Flotador
	2	FHE P <sub>1</sub>	3	30	Flotador

Heraldo Encarnación		FHE P <sub>2</sub>	3	30	Flotador
José Cuenca	3	FJC P <sub>1</sub>	3	30	Flotador
		FJC P <sub>2</sub>	3	30	Flotador
		FJC P <sub>3</sub>	3	30	Volumétrico
La Belleza	5	FLB P <sub>1</sub>	3	30	Volumétrico
		FLB P <sub>2</sub>	3	30	Volumétrico
		FLB P <sub>3</sub>	3	30	Volumétrico
		FLB P <sub>4</sub>	3	30	Flotador
		FLB P <sub>5</sub>	3	30	Flotador

Realizado por: Meza, Kevin, 2023.

### 3.3.3. *Procesamiento de información en SPSS*

El procesamiento de los caudales de cada medición individual, así como de los valores de los parámetros de calidad del agua, se realizó con ayuda del software estadístico SPSS y así obtener medidas de dispersión: medias, desviación estándar, máximos, mínimos y coeficientes de variación. Para obtener las medias de subgrupo, como se indica en el manual de IBM (2019, p.19), se siguieron los pasos mencionados a continuación:

1. Seleccionar en los menús: Analizar > Estadísticos descriptivos > Descriptivos...
2. Seleccionar una o más variables dependientes.
3. Utilizar uno de los siguientes métodos para seleccionar variables independientes categóricas:
  - Seleccionar una o más variables independientes.
  - Seleccionar una o más capas de variables independientes.
4. En “Opciones” para obtener estadísticos de media, de dispersión (desviación estándar, mínimo y máximo) (IBM, 2019, p.19).

## 3.4. Sistema de tratamiento convencional

### 3.4.1. *Parámetros físicos, químicos y biológicos del agua*

Los valores de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de los cuerpos de agua de este estudio fueron tomados del trabajo de “Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los cuerpos de agua para uso agropecuario de las fincas que forman parte del proyecto agrosilvopastoril localizadas en la parroquia La Belleza, provincia de Orellana” realizado por Flores y Lucio (2022, pp. 5-20), el cual se encuentra vinculado a este trabajo de integración curricular.

### 3.4.2. Selección de los métodos de tratamiento

La complejidad del sistema de tratamiento depende de la calidad del agua cruda, donde la selección de los procesos y operaciones de tratamiento más adecuados desempeña un papel fundamental. Existen una serie de criterios generales a considerar durante el tratamiento del agua, basados en la calidad del agua cruda, detallados por Romero Rojas (1999, pp.16-17), formulados para suministro doméstico, los mismos que sirvieron de referencia para este trabajo, detallados a continuación.

**Tabla 3-2:** Estándares para fuentes de calidad de agua cruda

PARÁMETRO		FUENTE EXCELENTE Requiere solamente desinfección como tratamiento	FUENTE BUENA Requiere tratamiento usual como filtración y desinfección	FUENTE POBRE Requiere tratamiento especial o adicional y desinfección
DBO (mg/L)	Promedio mensual	0.75 – 0.15	1.5 – 2.5	> 2.5
	Máximo diario o muestra	1.0 – 3.0	3.0 – 4.0	> 4.0
Coliformes (NMP/100 ml)	Promedio mensual	50 – 100	50 – 5000	> 5000
	Máximo diario o muestra	< 5% sobre 100	< 20% sobre 5000	< 5% sobre 20000
OD	Promedio (mg/L)	4.0 – 7.5	4.0 – 6.5	4.0
	Saturación (%)	> 75	> 60	-
pH	Promedio	6.0 – 8.5	5.0 – 9.0	3.8 – 10.5
Cloruros (mg/L)	Máximo	< 50	50 – 250	> 250
Fluoruros (mg/L)	Promedio	< 1.5	1.5 – 3.0	> 3.0
Fenoles (mg/L)	Máximo	0	0.005	> 0.005
Color	Promedio	0 – 20	20 – 150	> 150
Turbiedad	Promedio	0 – 10	10 – 250	> 250

Fuente: Romero Rojas, 1999, p.15.

Realizado por: Meza, Kevin, 2023.

**Tabla 3-3:** Criterios de calidad para destinación del recurso para consumo humano y doméstico

<b>PARÁMETRO</b>	<b>Requiere tratamiento convencional: coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección</b>	<b>Requiere solo desinfección</b>
Amoníaco (como N)	1.0	1.0
Arsénico	0.05	0.05
Bario	1.0	1.0
Cadmio	0.01	0.01
Cianuro	0.2	0.2
Cinc	15.0	15.0
Cloruros	250.0	250.0
Cobre	1.0	1.0
Color (unidades)	75	20
Fenoles	0.002	0.002
Cromo hexavalente	0.05	0.05
Mercurio	0.002	0.002
Nitratos (como N)	10.0	10.0
Nitritos (como N)	1.0	1.0
pH (unidades)	5.0 – 9.0	6.5 – 8.5
Plata	0.05	0.05
Plomo	0.05	0.05
Selenio	0.01	0.01
Sulfatos	400.0	400.0
SAAM	0.5	0.5
Turbiedad	-	10
Coliformes totales (NMP/100 ml)	20000	1000
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	2000	-

Fuente: Romero Rojas, 1999, p.15.

Realizado por: Meza, Kevin, 2023.

### 3.5. Dimensionamiento del sistema de tratamiento

#### 3.5.1. Demanda de agua y caudal de diseño

Al tratarse de un sistema para uso agropecuario, se debe considerar la dotación de agua que será necesaria para el desarrollo de las actividades, durante un día. Para determinar este valor se utilizó

la información de acuerdo con el proyecto agrosilvopastoril, es decir, se estimó la cantidad requerida de agua por parte del ganado bovino (20 individuos, con proyección a la producción de leche), así como de los distintos cultivos (yuca, verde, cacao, café) en el espacio destinado para el mismo (3 ha en cada finca). Además, se incluyeron consideraciones como el agua requerida no solo para la crianza de bovinos, sino también para actividades de limpieza de corrales.

Para estimar el caudal necesario para el riego de los distintos cultivos se utilizó el software CROPWAT 8.0, desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés). CROPWAT permite, entre otros, el cálculo de los requisitos de riego y agua de los cultivos, utilizando datos del suelo, el clima y los cultivos (Arteaga et al., 2011, pp. 179-195). Por lo que se utilizaron los datos de clima correspondientes a la zona de estudio, como su temperatura mínima y máxima, humedad relativa, velocidad del viento, insolación y precipitación. En el tipo de suelo, se seleccionó la información que viene por defecto en el software, que más se aproxime a las condiciones del área de interés. Para los distintos cultivos, a través de revisión bibliográfica, se utilizaron los parámetros correspondientes a cada uno, como los valores de coeficiente de cultivo y la duración de cada fase de desarrollo. Por otro lado, para conocer el caudal necesario para la producción pecuaria, se utilizó información bibliográfica que represente el promedio de cada situación, como el consumo por cada animal y el gasto en limpieza.

Finalmente, en sistemas destinados para el consumo humano, se debe prever una dotación futura, considerando el crecimiento de la población a la cual el sistema va a servir. Sin embargo, para el proyecto agrosilvopastoril no existen planes de crecimiento y expansión. Una vez conocido el caudal demandado para las actividades agropecuarias, durante un día normal, se adoptando un factor de maximización del 25%.

### **3.5.2. *Diseño del sistema de tratamiento***

#### **3.5.2.1. *Canal***

##### **a) *Área del canal***

$$A = b \times h$$

**Ecuación 3-5.**

Donde:

A = área del canal

b = base

h = altura (equivale al tirante normal y)

**b) Tirante normal**

$$y_n = \left( \frac{Q \times n}{b \times S_o^{1/2}} \right)^{3/5} \left( 1 + \frac{\left( \frac{Q \times n}{b \times S_o^{1/2}} \right)^{3/5}}{b} \right)^{5/6}$$

**Ecuación 3-6.**

Donde:

$y_n$  = tirante normal

Q = caudal

b = ancho de fondo

n = coeficiente de Manning

$S_o$  = pendiente

**c) Radio hidráulico**

$$R = \frac{b \times h}{b + 2h}$$

**Ecuación 3-7.**

Donde:

R = radio hidráulico

b = base

h = altura

**d) Velocidad de transporte**

$$v = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

**Ecuación 3-8.**

Donde:

v = velocidad

n = coeficiente de Manning (canales de hormigón 0.013)

R = radio hidráulico

S = gradiente hidráulico

### 3.5.2.2. Rejillas

#### a) Sumatoria de la separación entre barras

$$b_g = \left( \frac{b - e}{s + e} \right) e$$

**Ecuación 3-9.**

Donde:

e = separación entre barras (mm)

s = espesor de las barras (mm)

b = ancho del canal (mm)

#### b) Número de barras

$$n_{barras} = \frac{b_g}{e} - 1$$

**Ecuación 3-10.**

Donde:

$b_g$  = sumatoria de la separación entre barras (m)

e = separación entre barras (mm)

#### c) Longitud de las barras

$$l_{barras} = \frac{h}{\text{sen}(\theta)}$$

**Ecuación 3-11.**

Donde:

$h$  = altura del canal (m)

$\theta$  = ángulo de inclinación de barras (grados)

**d) Área de espacios entre barras**

$$A_{e.barras} = b_g * l_{barras}$$

**Ecuación 3-12.**

Donde:

$b_g$  = sumatoria de la separación entre barras (m)

$l_{barras}$  = longitud de barras (m)

**e) Velocidad de flujo a través de las barras**

$$v_{barras} = \frac{Q_{diseño}}{A_{e.barras}}$$

**Ecuación 3-13.**

Donde:

$Q_{diseño}$  = caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)

$A_{e.barras}$  = área de espacios entre barras (m<sup>2</sup>)

**3.5.2.3. Vertedero triangular**

Los vertederos hidráulicos son estructuras que permiten el aforo de caudales y la mezcla rápida. Para caudales menores a 6 L/s, el vertedero triangular de pared delgada, es la mejor alternativa para el aforo de caudales (Uribe, 2019, p.75).

Para determinar las condiciones de mezcla rápida en un vertedero triangular de 90°, se utilizaron las siguientes ecuaciones (Centro CEPIS/OPS et al., 2006, pp.72-73):

**a) Altura de la lámina de agua sobre el vertedero**

El caudal (Q), para vertederos triangulares de 90°, se encuentra en función de constantes y de la altura de la lámina de agua sobre el vertedero (h) y se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$Q = 1.4 x h^{2.5}$$

Despejando de esta ecuación, con el caudal conocido, se conoció la altura de la lámina de agua sobre el vertedero, como sigue:

$$h = \left( \frac{Q}{1.4} \right)^{0.4}$$

**Ecuación 3-14.**

Donde:

Q: caudal (m<sup>3</sup>/s)

h: altura de la lámina de agua sobre el vertedero (m)

#### **b) Ancho de la lámina vertiente**

Para establecer el ancho de la lámina de la vertiente (L), se utilizó la siguiente fórmula:

$$L = 2 h$$

**Ecuación 3-15.**

Donde:

L: ancho de la lámina de la vertiente (m)

h: altura de la lámina de agua sobre el vertedero (m)

#### **c) Ancho del canal**

En caso de caudales pequeños se recomienda que el ancho del canal (B), sea el doble de la lámina de la vertiente:

$$B = 2 L$$

**Ecuación 3-16.**

Donde:

B: ancho del canal (m)

L: ancho de la lámina de la vertiente (m)

#### d) Caudal unitario promedio

El caudal unitario es la cantidad de agua que pasa por el vertedero por unidad de ancho, calculado a través de la siguiente ecuación:

$$q = \frac{Q}{B}$$

**Ecuación 3-17.**

Donde:

q: caudal unitario promedio (m<sup>3</sup>/s/m)

Q: caudal (m<sup>3</sup>/s)

B: ancho del canal (m)

#### e) Altura crítica

En canales de flujo libre, la altura crítica constituye el límite entre el flujo supercrítico y subcrítico.

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

**Ecuación 3-18.**

Donde:

h<sub>c</sub>: altura crítica (m)

q: caudal unitario promedio (m<sup>3</sup>/s/m)

g: aceleración de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

#### f) Altura al inicio del resalto

La altura del agua al inicio del resalto se estimó mediante:

$$h_1 = \frac{1.41 h_c}{\sqrt{2.56 + \frac{P}{h_c}}}$$

**Ecuación 3-19.**

Donde:

$h_1$ : altura al inicio del resalto (m)

$h_c$ : altura crítica (m)

P: altura desde el vértice del vertedero hasta el fondo del canal aguas abajo (m)

### g) Velocidad al inicio del resalto

La velocidad al inicio del resalto hidráulico se calculó para posteriormente determinar el número de Froude:

$$v_1 = \frac{q}{h_1}$$

**Ecuación 3-20.**

Donde:

$v_1$ : velocidad al inicio del resalto (m/s)

q: caudal unitario promedio (m<sup>3</sup>/s/m)

$h_1$ : altura al inicio del resalto (m)

### h) Número de Froude

Se caracteriza por ser parámetro hidráulico adimensional, para identificar si el resalto hidráulico estable. El número de Froude se puede estimar por medio de:

$$F_1 = \frac{v_1}{\sqrt{g \times h_1}}$$

**Ecuación 3-21.**

Donde:

$F_1$ : número de Froude

$v_1$ : velocidad al inicio del resalto (m/s)

g: gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

$h_1$ : altura al inicio del resalto (m)

**i) Altura del agua después del resalto**

Se calculó la altura del agua luego del resalto hidráulico, usando la siguiente fórmula:

$$h_2 = \frac{h_1}{2} x (\sqrt{1 + 8F_1} - 1)$$

**Ecuación 3-22.**

Donde:

$h_2$ : altura del agua después del resalto (m)

$F_1$ : número de Froude

$h_1$ : altura al inicio del resalto (m)

**j) Velocidad al final de resalto**

La velocidad al final del resalto es una función del caudal unitario promedio y la altura del agua en esta sección:

$$v_2 = \frac{q}{h_2}$$

**Ecuación 3-23.**

Donde:

$v_2$ : velocidad al final del resalto (m/s)

$q$ : caudal unitario promedio (m<sup>3</sup>/s/m)

$h_2$ : altura del agua después del resalto (m)

**k) Energía disipada en el resalto**

Se estimó la energía que se disipa en el resalto hidráulico, para posteriormente determinar el gradiente hidráulico:

$$h_p = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4 h_1 h_2}$$

**Ecuación 3-24.**

Donde:

$h_p$ : energía disipada en el resalto (m)

$h_1$ : altura al inicio del resalto (m)

$h_2$ : altura del agua después del resalto (m)

### **l) Longitud del resalto**

Para conocer la longitud del resalto fue necesaria la siguiente ecuación:

$$L_m = 6 (h_2 - h_1)$$

**Ecuación 3-25.**

Donde:

$L_m$ : longitud del resalto (m)

$h_1$ : altura al inicio del resalto (m)

$h_2$ : altura del agua después del resalto (m)

### **m) Distancia del vertedero a la sección 1**

La distancia desde el vertedero a la sección 1 es una función de la altura crítica y altura desde el vértice del vertedero hasta el fondo del canal aguas abajo, por medio de la ecuación:

$$L' = 4.3 P \left( \frac{h_c}{P} \right)^{0.9}$$

**Ecuación 3-26.**

Donde:

$L'$ : distancia del vertedero a la sección 1 (m)

$h_c$ : altura crítica (m)

$P$ : altura desde el vértice del vertedero hasta el fondo del canal aguas abajo (m)

### **n) Velocidad promedio en el resalto**

La velocidad media en el resalto depende de la velocidad al ingreso del resalto hidráulico y a su salida:

$$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

**Ecuación 3-27.**

Donde:

$v_m$ : velocidad promedio en el resalto (m/s)

$v_1$ : velocidad al inicio del resalto (m/s)

$v_2$ : velocidad al final del resalto (m/s)

### **o) Tiempo de mezcla**

El tiempo de mezcla debe ser menor a 1 segundo, para conocer si se cumple esta condición, se calculó dicho parámetro con ayuda de la siguiente fórmula:

$$T = \frac{L_m}{v_m}$$

**Ecuación 3-28.**

Donde:

T: tiempo de mezcla (s)

$L_m$ : longitud del resalto (m)

$v_m$ : velocidad promedio en el resalto (m/s)

### **p) Gradiente de velocidad**

Finalmente, el gradiente permite, que permite comprobar la turbulencia en el resalto hidráulico, se determinó con la expresión detallada a continuación:

$$G = \sqrt{\frac{r}{\mu}} \times \sqrt{\frac{h_p}{T}}$$

Considerando que la relación  $\sqrt{r/\mu}$ , para una temperatura promedio de 26.6°C es de 3315.7:

$$G = 3315.7 \times \sqrt{\frac{h_p}{T}}$$

**Ecuación 3-29.**

Donde:

G: gradiente hidráulico ( $s^{-1}$ )

$h_p$ : energía disipada en el resalto (m)

T: tiempo de mezcla (s)

#### 3.5.2.4. Floculador de flujo horizontal

Para el floculador de flujo horizontal se consideraron las siguientes características:

**Tabla 3-4:** Características consideradas para el floculador de flujo horizontal

Parámetro	Rango
Tiempo de retención	20 min - 30 min
Velocidad del agua a través del tanque	0.22 m/s - 0.08 m/s
Gradiente de velocidad	$90 s^{-1}$ - $20 s^{-1}$
Profundidad	1.5 m - 2 m
Coefficiente de pérdida de carga en las vueltas	2 - 4
Coefficiente de fricción (hormigón)	$0.012 s/m^{1/3}$

Fuente: CPE INEN 5, 1992, p.140.

Realizado por: Meza, Kevin, 2023.

#### a) Longitud del recorrido de agua

La longitud del recorrido de agua es longitud total de canales que se tendrá en la sección correspondiente, se expresa mediante:

$$L = v \times t$$

**Ecuación 3-30.**

Donde:

L: longitud del recorrido de agua (m)

v: velocidad del flujo del agua (m/s)

t: tiempo en la sección (s)

#### b) Volumen en la sección

Conocido el caudal y el tiempo de retención en la sección, es posible determinar el volumen:

$$V = Q \times t$$

**Ecuación 3-31.**

Donde:

V: volumen en la sección (m<sup>3</sup>)

Q: caudal (m<sup>3</sup>/s)

t: tiempo en la sección (s)

**c) Área transversal de un canal entre baffles**

Los baffles son los canales rectangulares por donde se desplaza el flujo, se encuentra en función del caudal y de la velocidad.

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

**Ecuación 3-32.**

Donde:

A: área (m<sup>2</sup>)

Q: caudal (m<sup>3</sup>/s)

v: velocidad del flujo del agua (m/s)

**d) Calado de agua en los canales**

El calado del agua en los canales se encuentra en función del área y del ancho:

$$d = \frac{A}{a}$$

**Ecuación 3-33.**

Donde:

d: calado de agua en los canales (m)

A: área (m<sup>2</sup>)

a: ancho (m)

**e) Espacio libre entre el tabique y la pared del tanque**

El espacio libre entre el tabique y la pared del tanque evita la existencia de flujos turbulentos que podrían alterar el funcionamiento, para conocer este parámetro se empleó la siguiente ecuación:

$$e = 1.5 \times a$$

**Ecuación 3-34.**

Donde:

e: espacio libre entre el tabique y la pared del tanque (m)

a: ancho (m)

**f) Longitud efectiva útil del canal**

La longitud efectiva útil del canal se determinó mediante:

$$l = L_T - e$$

**Ecuación 3-35.**

Donde:

$L_T$ : longitud total (m)

e: espacio libre entre el tabique y la pared del tanque (m)

**g) Número de canales**

El número de canales se conoció a través de la siguiente ecuación:

$$n_{canales} = \frac{L}{l}$$

**Ecuación 3-36.**

Donde:

L: longitud de recorrido de agua en la primera sección (m)

l: longitud efectiva útil del canal (m)

#### **h) Ancho de la cámara de floculación**

En este caso se debe considerar el ancho de las paredes, ancho de los canales y el número de canales:

$$B_1 = (n_{canales} \times a) + [(n_{canales} - 1) \times b]$$

**Ecuación 3-37.**

Donde:

B<sub>1</sub>: ancho de la cámara de floculación (m)

n<sub>canales</sub>: número de canales

a: ancho (m)

b: ancho de las paredes (m)

#### **i) Radio hidráulico de la canaleta**

Para conocer el radio hidráulico de la canaleta, se usó la siguiente fórmula:

$$R_h = \frac{A}{P_m}$$

A su vez, el perímetro mojado depende del calado de agua (corregido) y el ancho, por lo que la ecuación anterior cambió a:

$$R_h = \frac{A}{2 d_f + a}$$

**Ecuación 3-38.**

Donde:

R<sub>h</sub>: radio hidráulico (m)

A: área (m<sup>2</sup>)

a: ancho (m)

d: calado de agua en los canales (m)

#### **j) Pérdidas por fricción**

En este tipo de estructuras, las pérdidas por fricción se estimaron mediante:

$$h_f = \frac{(n \times v)^2 \times L}{R_h^{3/4}}$$

**Ecuación 3-39.**

Donde:

$h_f$ : pérdidas por fricción (m)

$n$ : coeficiente de rugosidad (canales de hormigón 0.012 s/m<sup>1/3</sup>)

$v$ : velocidad del flujo del agua (m/s)

$L$ : longitud de recorrido de agua en la primera sección (m)

$R_h$ : radio hidráulico (m)

### **k) Pérdidas localizadas**

Para las pérdidas localizadas se empleó la siguiente fórmula:

$$h_{f1} = K \times (n_{canales} - 1) \times \frac{v^2}{2g}$$

**Ecuación 3-40.**

Donde:

$h_{f1}$ : pérdidas localizadas (m)

$K$ : coeficiente de pérdida de carga en las vueltas

$n_{canales}$ : número de canales

$v$ : velocidad del flujo del agua (m/s)

$g$ : aceleración de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

### **l) Pérdidas totales**

Las pérdidas totales resultaron de la sumatoria de las pérdidas por fricción y de las pérdidas localizadas:

$$h_{fT} = h_f + h_{f1}$$

**Ecuación 3-41.**

Donde:

$h_{fT}$ : pérdidas totales (m)

$h_f$ : pérdidas por fricción (m)

$h_{rl}$ : pérdidas localizadas (m)

### m) Gradiente de velocidad

El gradiente de velocidad, en cualquier sección de los floculadores, resultó de:

$$G = \sqrt{\frac{r}{\mu}} \times \sqrt{\frac{h_{fT}}{t}}$$

La relación  $\sqrt{h_{fT}/t}$ , a la temperatura media del agua de la zona de estudio, equivale a 3315.7, por lo que la ecuación anterior, resultaría:

$$G = 3315.7 \times \sqrt{\frac{h_{fT}}{t}}$$

**Ecuación 3-42.**

Donde:

G: gradiente de velocidad ( $s^{-1}$ )

$h_{fT}$ : pérdidas totales (m)

t: tiempo en la sección (s)

#### 3.5.2.5. Sedimentador

### a) Área superficial de la unidad

El área superficial de la unidad ( $A_s$ ), que es el área superficial de la zona de sedimentación, se estableció de acuerdo con la siguiente relación:

$$A_s = \frac{Q}{V_s}$$

**Ecuación 3-43.**

Donde:

$V_s$ : Velocidad de sedimentación (m/s)

Q: Caudal de diseño ( $m^3/s$ )

## b) Dimensiones del sedimentador

Se establecieron las dimensiones del sedimentador considerando los siguientes criterios:

- La separación entre la entrada y pantalla difusora ( $L_1$ ) debe encontrarse entre 0.7 m y 1 m.
- La profundidad (H) debe tener valores entre 1.5 m y 2.5 m.
- La longitud de la zona de sedimentación ( $L_2$ ) resulta de la relación del área superficial ( $A_s$ ) y el ancho (B).
- La longitud total (L) es la suma de la longitud de la zona de sedimentación ( $L_2$ ) y de la separación entre la entrada y la pantalla difusora ( $L_1$ ).
- La altura máxima ( $H'$ ) debe incluir la altura del fondo del sedimentador, en función de la pendiente (10%).
- La relación largo y ancho (L/B) debe encontrarse entre 3 y 6
- La relación largo/profundidad (L/H) debe encontrarse entre 5 y 20.

## c) Velocidad horizontal

La velocidad horizontal  $V_H$  (m/s) corresponde a la velocidad de arrastre en la unidad, la cual se estableció mediante la ecuación:

$$V_H = \frac{100 * Q}{B * H}$$

**Ecuación 3-44.**

Donde:

Q: Caudal de diseño ( $m^3/s$ )

B: Ancho (m)

H: ancho (m)

La relación de velocidades horizontal y de sedimentación ( $V_H/V_s$ ) debe ser igual a la relación existente entre el largo y la profundidad (L/H).

## d) Tiempo de retención

El tiempo de retención al interior del reactor se obtuvo con la relación:

$$T_o = \frac{As * H}{3600 * Q}$$

**Ecuación 3-45.**

Donde:

To: Tiempo de retención (h)

Q: Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)

As: Área superficial de la unidad (m<sup>2</sup>)

H: ancho (m)

#### **e) Número de orificios**

Para conocer el número de orificios en la pantalla difusora, primero se debe conocer el área total que ocuparan, mediante:

$$A_o = \frac{Q}{V_o}$$

**Ecuación 3-46.**

Donde:

Vo: Velocidad en los orificios (m/s)

Q: Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)

A<sub>o</sub>: Área total de orificios (m<sup>2</sup>)

Posteriormente, el número de orificios se obtuvo con la siguiente relación:

$$n = \frac{A_o}{a_o}$$

**Ecuación 3-47.**

Donde:

n: Número de orificios

A<sub>o</sub>: Área total de orificios (m<sup>2</sup>)

a<sub>o</sub>: Área de cada orificio (m<sup>2</sup>)

**f) Vertedero de salida**

Considerando que el agua clarificada sale por un vertedero de longitud de cresta igual al ancho de la unidad; la altura de agua sobre el vertedero estuvo en función de:

$$H_v = \left[ \frac{Q}{1.84 B} \right]^{2/3}$$

**Ecuación 3-48.**

Donde:

$H_v$ : Altura de agua sobre el vertedero (m)

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

B: ancho (m)

*3.5.2.6. Filtro lento de arena*

**a) Número de unidades**

$$N = 0.044 x \sqrt{Q}$$

**Ecuación 3-49.**

Donde:

N: número de unidades de filtración

Q: caudal (m<sup>3</sup>/día)

**b) Coeficiente de mínimo de costo**

$$K = \frac{2 N}{N + 1}$$

**Ecuación 3-50.**

Donde:

K: coeficiente de mínimo costo

N: número de unidades de filtración

**c) Área superficial**

$$A_s = \frac{Q}{N \times V_f}$$

**Ecuación 3-51.**

Donde:

As: área superficial (m<sup>2</sup>)

N: número de unidades de filtración

Q: caudal (m<sup>3</sup>/día)

V<sub>f</sub>: velocidad de filtración (m/día)

**d) Longitud de la unidad**

$$L = (A_s \times K)^{1/2}$$

**Ecuación 3-52.**

Donde:

L: longitud de la unidad (m)

As: área superficial (m<sup>2</sup>)

K: coeficiente de mínimo costo

**e) Ancho de la unidad**

$$b = \left(\frac{A_s}{K}\right)^{1/2}$$

**Ecuación 3-53.**

Donde:

b: ancho de la unidad (m)

As: área superficial (m<sup>2</sup>)

K: coeficiente de mínimo costo

Se debe cumplir que la relación L/b se encuentre entre 1 y 3.

#### **f) Sistema de drenaje y distribución**

Para determinar el sistema de tuberías de recolección del agua filtrada, fue necesario considerar que la velocidad de ingreso por las perforaciones, como indica la Norma CPE INEN 5 (1992, p.149), debe ser máximo de 0.3 m/s.

##### *3.5.2.7. Reservorio*

Al definir el volumen del tanque de almacenamiento se buscó garantizar al menos un abastecimiento permanente durante 48 horas continuas.

#### **3.6. Diseño de la planta**

Luego de haber realizado los cálculos correspondientes, de los componentes de la planta potabilizadora, se realizaron los planos empleando AutoCAD.

## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se detallan los resultados del levantamiento de información en las áreas de estudio, respecto a las mediciones para el cálculo del caudal en las fincas Luis Prado, Heraldo Encarnación, José Cuenca y La Belleza; su procesamiento de información en SPSS, la selección y modelado del sistema de tratamiento convencional.

#### 4.1. Cálculo de caudales

##### 4.1.1. Variables medidas para el cálculo de caudales

A continuación, en la Tabla 4-1, se detallan las coordenadas levantadas en los puntos de muestreo donde se efectuaron las mediciones para el cálculo de caudales.

**Tabla 4-1:** Puntos de muestreo y sus coordenadas

Nombre de la finca	Número de puntos	Codificación	Coordenadas		
			X	Y	Z
Luis Prado	2	FLP P <sub>1</sub>	275113	9922393	282
		FLP P <sub>2</sub>	275051	9922251	286
Heraldo Encarnación	2	FHE P <sub>1</sub>	277997	9929696	306
		FHE P <sub>2</sub>	278089	9929523	287
José Cuenca	3	FJC P <sub>1</sub>	277968	9929335	288
		FJC P <sub>2</sub>	278006	9929163	292
		FJC P <sub>3</sub>	273332	9929688	297
La Belleza	5	FLB P <sub>1</sub>	272786	9929749	309
		FLB P <sub>2</sub>	272754	9929740	311
		FLB P <sub>3</sub>	272726	9929688	335
		FLB P <sub>4</sub>	272946	9929677	293
		FLB P <sub>5</sub>	272711	9929586	311

Realizado por: Meza, Kevin, 2023.

En las tablas que se detallan a continuación, se presentan los resultados de las mediciones efectuadas. En las cuales se especifican, en el caso del método volumétrico, el volumen de recipiente y el tiempo que tardó en llenarse; mientras que, para el método de flotadores, se especifica las profundidades, el ancho del cuerpo de agua medido y el tiempo por cada medición.

#### 4.1.1.1. Finca Luis Prado

En la Finca Luis Prado se seleccionaron dos cuerpos de agua, donde se midió el caudal utilizando el método volumétrico en el P<sub>1</sub> y el de flotadores en el P<sub>2</sub>. La información detallada de las mediciones puede apreciarse en la Tabla 4-2.

**Tabla 4-2:** Parámetros medidos para el cálculo de caudales de la Finca Luis Prado

Punto		FLP P <sub>1</sub>			FLP P <sub>2</sub>		
Medición		M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>
Profundidades [cm]	h <sub>1</sub>	-	-	-	1.50	1.16	2.01
	h <sub>2</sub>	-	-	-	2.50	2.05	3.01
	h <sub>3</sub>	-	-	-	2.00	1.70	2.60
Ancho [cm]	a	-	-	-	49.0	46.2	52.1
Volumen [l]	V	10.0	10.0	10.0	-	-	-
Tiempo [s]	t	7.94	9.53	6.75	130.20	156.24	110.67
		7.72	9.26	6.56	134.40	161.28	114.24
		7.72	9.65	6.72	138.60	173.25	120.58
		7.77	9.32	6.6	137.40	164.88	116.79
		7.59	9.72	6.45	130.20	166.66	110.67
		7.49	8.99	6.37	138.00	165.60	117.30
		7.87	9.44	6.69	136.80	164.16	116.28
		7.41	8.99	6.52	135.00	162.00	118.80
		7.59	9.11	6.45	139.80	167.76	118.83
7.61	9.13	6.47	144.00	172.80	122.40		

Nota. En el primer punto (FLP P<sub>1</sub>) se empleó el método volumétrico, mientras que en el segundo punto (FLP P<sub>2</sub>) se utilizó el método de flotadores.

Realizado por: Meza, Kevin, 2023.

#### 4.1.1.2. Finca Heraldo Encarnación

En la Finca Heraldo Encarnación se identificaron dos cuerpos de agua. La medición de parámetros para el cálculo de caudales fue realizada a través del método de los flotadores. En la Tabla 4-3, se detallan estos parámetros.

**Tabla 4-3:** Parámetros medidos para el cálculo de caudales de la Finca Heraldo Encarnación

Punto		FHE P <sub>1</sub>			FHE P <sub>2</sub>		
Medición		M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>
Profundidades [cm]	h <sub>1</sub>	4.00	3.70	5.50	4.00	3.70	5.50
	h <sub>2</sub>	6.00	4.20	6.00	6.00	4.20	6.00
	h <sub>3</sub>	2.50	1.00	4.00	2.50	1.00	4.00
Ancho [cm]	A	40.0	37.00	42.0	40.0	37.0	42.0
Tiempo [s]	T	39.46	47.35	28.51	39.46	47.35	33.54

	38.27	45.92	27.65	39.27	47.12	33.38
	38.16	45.79	27.57	39.57	47.48	33.63
	38.94	46.73	28.13	39.38	47.26	33.47
	38.73	46.48	27.98	39.25	47.10	33.36
	38.80	46.56	28.03	39.15	46.98	33.28
	39.15	46.98	28.29	39.21	47.05	33.33
	38.97	46.16	27.79	39.29	47.15	33.4
	38.85	46.62	28.07	39.40	47.28	33.49
	39.15	46.55	27.99	39.31	47.17	33.41

Nota. En ambos puntos se utilizó el método de flotadores.

Realizado por: Meza, Kevin, 2023.

#### 4.1.1.3. Finca José Cuenca

En la Finca José Cuenca se identificaron tres puntos de muestreo. En los dos primeros puntos, se utilizó el método de los flotadores, mientras que, en el último punto, se aplicó el método volumétrico. En la Tabla 4-4, se detallan los valores de los parámetros medidos.

**Tabla 4-4:** Parámetros medidos para el cálculo de caudales en la Finca José Cuenca

Punto		FJC P <sub>1</sub>			FJC P <sub>2</sub>			FJC P <sub>3</sub>		
Medición		M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>
Profundidades [cm]	h <sub>1</sub>	1.50	1.20	1.87	25.00	22.70	26.90	-	-	-
	h <sub>2</sub>	2.50	2.07	2.75	75.00	71.50	77.05	-	-	-
	h <sub>3</sub>	1.00	0.95	1.36	19.00	17.75	21.50	-	-	-
Ancho [cm]	A	12.0	11.3	13.6	79.0	76.80	81.85	-	-	-
Volumen [l]	V	-	-	-	-	-	-	1.00	1.00	1.00
Tiempo [s]	T	41.83	50.20	35.56	60.07	72.08	51.06	139.82	167.78	118.85
		41.07	49.28	34.91	60.02	72.02	51.02	140.55	168.66	119.47
		42.50	53.13	36.98	60.06	75.08	52.25	139.67	174.59	121.51
		42.12	50.54	35.80	60.12	72.14	51.10	139.75	167.70	118.79
		40.10	51.33	34.09	57.10	73.09	48.54	138.99	177.91	118.14
		41.90	50.28	35.62	60.05	72.06	51.04	139.15	166.98	118.28
		42.00	50.40	35.70	60.03	72.04	51.03	139.29	167.15	118.40
		41.57	49.88	36.58	59.09	70.91	52.00	140.27	168.32	123.44
		41.10	49.32	34.94	60.01	72.01	51.01	139.17	167.00	118.29
		42.05	50.46	35.74	60.07	72.08	51.06	140.12	168.14	119.10

Nota. En el primer y segundo punto (FJC P<sub>1</sub> y P<sub>2</sub>) se empleó el método de flotadores, mientras que en el tercer punto (FJC P<sub>3</sub>) se utilizó el método volumétrico.

Realizado por: Meza, Kevin, 2023.

#### *4.1.1.4. Finca La Belleza*

En la Finca La Belleza se identificaron cinco puntos; en los tres primeros puntos se utilizó el método volumétrico, por otro lado, para los dos últimos puntos se empleó el método de flotadores. A continuación, en la Tabla 4-5, se especifican los valores medidos.

**Tabla 4-5:** Parámetros medidos para el cálculo de caudales en la Finca La Belleza

Punto		FLB P <sub>1</sub>			FLB P <sub>2</sub>			FLB P <sub>3</sub>			FLB P <sub>4</sub>			FLB P <sub>5</sub>		
Medición		M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>
Profundidades [cm]	h <sub>1</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.00	8.25	9.54	5.00	3.89	5.78
	h <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.0	17.89	20.14	9.00	8.13	9.95
	h <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.00	1.26	2.75	3.00	2.41	3.76
Ancho [cm]	a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	80.0	78.32	82.06	79.00	78.25	80.78
Volumen [l]	V	1.0	1.0	1.0	3.7	3.7	3.7	1.00	1.00	1.00	-	-	-	-	-	-
Tiempo [s]	t	19.65	23.58	16.70	37.48	44.98	31.86	79.80	95.76	69.87	52.08	64.88	45.15	56.15	71.41	47.57
		19.31	23.17	16.41	38.31	45.97	32.56	77.40	92.88	67.83	51.79	62.60	44.34	55.95	67.34	47.74
		19.75	24.69	17.18	38.45	48.08	33.45	84.00	105.00	74.97	51.90	62.52	44.27	56.07	70.09	49.47
		19.24	23.09	16.35	37.49	44.99	31.87	88.20	105.84	66.30	52.17	62.48	44.02	56.12	67.14	47.61
		19.97	25.56	16.97	38.03	48.68	32.33	81.00	103.68	76.56	51.95	62.50	45.87	55.79	67.38	47.47
		19.44	23.33	16.52	38.11	45.73	32.39	76.20	91.44	70.89	51.73	62.54	43.97	55.85	67.16	47.42
		19.17	23.00	16.29	38.01	45.61	32.31	78.00	93.60	64.77	51.97	62.36	44.17	56.01	67.40	47.70
		19.75	23.70	17.38	38.15	45.78	33.57	87.00	104.40	73.08	52.12	62.15	44.29	56.17	67.46	48.78
		19.42	23.30	16.51	38.17	45.80	32.44	83.40	100.08	65.79	52.07	62.08	44.16	56.22	67.21	47.56
19.56	23.47	16.63	38.29	45.95	32.55	82.20	98.64	68.85	52.10	66.50	44.26	55.97	67.02	47.73		

Nota. En los tres primeros puntos (FLB P<sub>1</sub>, FLB P<sub>2</sub> y FLB P<sub>3</sub>) se aplicó el método volumétrico, por otro lado, en los dos últimos (FLB P<sub>4</sub> y FLB P<sub>5</sub>) se utilizó el método de flotadores.

Realizado por: Meza, Kevin, 2023.

#### 4.1.2. Caudales medidos

Se estimaron los valores de los caudales para cada repetición efectuada, por la extensión de esta información, los valores obtenidos se detallan en el Anexo D. A partir de esto, se realizó un análisis estadístico y se determinó el promedio, error estándar, desviación estándar, máximos y mínimos de cada una de las mediciones de caudal.

##### 4.1.2.1. Finca Luis Prado

**Tabla 4-6:** Estadísticos de los caudales medidos en la Finca Luis Prado

Punto/ muestra	Media	Desviación estándar	Error estándar de la media	Mínimo	Máximo
FLPP <sub>1</sub> M <sub>1</sub>	1.30	0.03	0.01	1.26	1.35
FLPP <sub>1</sub> M <sub>2</sub>	1.07	0.03	0.01	1.03	1.11
FLPP <sub>1</sub> M <sub>3</sub>	1.52	0.03	0.01	1.48	1.57
FLPP <sub>2</sub> M <sub>1</sub>	0.54	0.02	0.00	0.51	0.56
FLPP <sub>2</sub> M <sub>2</sub>	0.34	0.01	0.00	0.33	0.36
FLPP <sub>2</sub> M <sub>3</sub>	0.85	0.03	0.01	0.81	0.90

Nota. Los valores de media, desviación estándar, mínimo y máximo, se encuentran expresadas en L/s.

Realizado por: Meza, Kevin, 2023.

##### 4.1.2.2. Finca Heraldo Encarnación

**Tabla 4-7:** Estadísticos de los caudales medidos en la Finca Heraldo Encarnación

Punto/ muestra	Media	Desviación estándar	Error estándar de la media	Mínimo	Máximo
FHEP <sub>1</sub> M <sub>1</sub>	3.22	0.03	0.01	3.17	3.28
FHEP <sub>1</sub> M <sub>2</sub>	1.77	0.02	0.01	1.74	1.80
FHEP <sub>1</sub> M <sub>3</sub>	5.81	0.06	0.02	5.71	5.90
FHEP <sub>2</sub> M <sub>1</sub>	3.18	0.01	0.00	3.16	3.19
FHEP <sub>2</sub> M <sub>2</sub>	1.75	0.01	0.00	1.73	1.75
FHEP <sub>2</sub> M <sub>3</sub>	4.87	0.02	0.00	4.84	4.89

Nota. Los valores de media, desviación estándar, mínimo y máximo, se encuentran expresadas en L/s.

Realizado por: Meza, Kevin, 2023.

#### 4.1.2.3. Finca José Cuenca

**Tabla 4-8:** Estadísticos de los caudales medidos en la Finca José Cuenca

<b>Punto/ muestra</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Error estándar de la media</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
FJCP <sub>1</sub> M <sub>1</sub>	0.36	0.01	0.00	0.35	0.37
FJCP <sub>1</sub> M <sub>2</sub>	0.24	0.01	0.00	0.22	0.24
FJCP <sub>1</sub> M <sub>3</sub>	0.57	0.01	0.00	0.55	0.60
FJCP <sub>2</sub> M <sub>1</sub>	39.40	0.65	0.21	39.09	41.16
FJCP <sub>2</sub> M <sub>2</sub>	29.71	0.44	0.14	28.63	30.31
FJCP <sub>2</sub> M <sub>3</sub>	50.33	0.99	0.31	49.13	52.88
FJCP <sub>3</sub> M <sub>1</sub>	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
FJCP <sub>3</sub> M <sub>2</sub>	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
FJCP <sub>3</sub> M <sub>3</sub>	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01

Nota. Los valores de media, desviación estándar, mínimo y máximo, se encuentran expresadas en L/s.

Realizado por: Meza, Kevin, 2023.

#### 4.1.2.4. Finca La Belleza

**Tabla 4-9:** Estadísticos de los caudales medidos en la Finca La Belleza

<b>Punto/ muestra</b>	<b>Media</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Error estándar de la media</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
FLBP <sub>1</sub> M <sub>1</sub>	0.05	0.00	0.00	0.05	0.05
FLBP <sub>1</sub> M <sub>2</sub>	0.04	0.00	0.00	0.04	0.04
FLBP <sub>1</sub> M <sub>3</sub>	0.06	0.00	0.00	0.06	0.06
FLBP <sub>2</sub> M <sub>1</sub>	0.10	0.00	0.00	0.10	0.10
FLBP <sub>2</sub> M <sub>2</sub>	0.08	0.00	0.00	0.08	0.08
FLBP <sub>2</sub> M <sub>3</sub>	0.11	0.00	0.00	0.11	0.12
FLBP <sub>3</sub> M <sub>1</sub>	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
FLBP <sub>3</sub> M <sub>2</sub>	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
FLBP <sub>3</sub> M <sub>3</sub>	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02
FLBP <sub>4</sub> M <sub>1</sub>	11.54	0.03	0.01	11.50	11.60
FLBP <sub>4</sub> M <sub>2</sub>	8.51	0.19	0.06	8.07	8.64
FLBP <sub>4</sub> M <sub>3</sub>	14.97	0.20	0.06	14.50	15.13
FLBP <sub>5</sub> M <sub>1</sub>	5.99	0.02	0.00	5.97	6.02
FLBP <sub>5</sub> M <sub>2</sub>	4.15	0.09	0.03	3.95	4.21
FLBP <sub>5</sub> M <sub>3</sub>	8.22	0.11	0.04	7.96	8.30

Nota. Los valores de media, desviación estándar, mínimo y máximo, se encuentran expresadas en L/s.

Realizado por: Meza, Kevin, 2023.

## 4.2. Dimensionamiento del sistema de tratamiento

### 4.2.1. Demanda de agua y caudal de diseño

Como se describe en la sección de área de estudio, en el contexto proyecto agrosilvopastoril se han destinado 3 ha de cada finca para el cultivo de plantaciones de yuca, plátano, cacao y café, así como la crianza de 20 bovinos (vacas y toros), los que podrían estar destinados a la producción de leche. Con base en estas condiciones se estimó el caudal de agua demandado.

#### 4.2.1.1. Demanda de agua para consumo agrícola

Acorde a las características del cultivo y de la zona, con ayuda del programa CROPWAT se estimó el caudal necesario para el riego, por etapas del cultivo. En la Tabla 4-10 se resumen los resultados de mayor relevancia para este trabajo; como se puede apreciar, estos valores varían acorde a la etapa del cultivo, además estos ya consideran la influencia de factores y eventos climáticos de la zona.

**Tabla 4-10:** Requerimiento de caudal para el riego de diversos cultivos

Cultivo	Etapa			
	Inicial	Desarrollo	Medio	Final
Cacao	0.02	0.02	0.02	0.00
Yuca	0.02	0.01	0.02	0.11
Plátano	0.02	0.04	0.02	0.00
Café	0.04	0.02	0.03	0.18

Nota. Los valores corresponden al caudal de riego en L/s/ha.

Realizado por: Meza, Kevin, 2023.

Las necesidades de riego máximo están dadas por el valor más alto, de la tabla anterior, correspondiente a 0.18 L/s/ha. Sin embargo, se debe tomar en cuenta la extensión del terreno del proyecto, es decir, 3 ha de cada finca, lo que resultaría en un total de 12 ha.

Total de consumo: 2.16 L/s

Considerando un factor de maximización del 25%:

Total de consumo (maximizado): 2.7 L/s o 233.28 m<sup>3</sup>/día

#### 4.2.1.2. *Demanda de agua para consumo pecuario*

Para conocer la demanda de agua en el ámbito pecuario, se consideraron los siguientes aspectos:

- Consumo de agua por animal: 3.85 - 5 L de agua/L de leche producida/día
- Consumo de agua para limpieza de instalaciones: 23-149.5 L agua/vaca/día

Con esta información, se estima un consumo de 177.5 L/día. Considerando que en el proyecto se estima la crianza de 20 bovinos, este valor sería:

Total de consumo: 3550 L/día

Considerando un factor de maximización del 25%:

Total de consumo (maximizado): 4437.5 L/día o 4.44 m<sup>3</sup>/día

#### 4.2.1.3. *Consumo neto*

El consumo total de agua, requerido por las fincas que forman parte del Proyecto Agrosilvopastoril, se obtuvo al sumar la demanda de agua para consumo pecuario y agrícola, considerando su factor de maximización.

Consumo neto: 237.72 m<sup>3</sup>/día – 2.8 L/s

### 4.3. **Calidad del agua cruda**

Los valores de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de la caracterización de los cuerpos de agua, obtenidos por Flores y Lucio (2022), se presentan en la Tabla 4-11. Estos autores compararon sus resultados con de los parámetros, con los límites establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A para uso agrícola y pecuario, los que se detallan en la Tabla 4-12; donde las concentraciones de cobre, hierro, pH y coliformes fecales superaron los límites de dicha norma.

Para lo cual se sugiere realizar un tratamiento con **biofiltros**. Además, es recomendable realizar un **proceso de cloración** para eliminar microorganismos patógenos presentes en el agua.

**Tabla 4-11:** Resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua, de los puntos de muestreo en las fincas objeto de estudio

Parámetros	Codificación de los puntos de muestreo											
	FLP P <sub>1</sub>	FLP P <sub>2</sub>	FHE P <sub>1</sub>	FHE P <sub>2</sub>	FJC P <sub>1</sub>	FJC P <sub>2</sub>	FJC P <sub>3</sub>	FLB P <sub>1</sub>	FLB P <sub>2</sub>	FLB P <sub>3</sub>	FLB P <sub>4</sub>	FLB P <sub>5</sub>
<b>Cobre</b> (mg/l)	0.16	0.31	0.14	0.14	0.14	0.11	0.20	0.22	0.09	0.07	0.09	0.20
<b>Hierro</b> (mg/l)	5.30	5.77	0.19	5.37	0.30	5.31	5.35	0.32	0.16	0.16	0.17	5.51
<b>Nitritos</b> (mg/l)	0.010	0.024	0.014	0.013	0.015	0.140	0.190	0.011	0.010	0.013	0.012	0.012
<b>Nitratos</b> (mg/l)	2.0	4.3	2.1	1.4	2.5	2.6	2.7	1.9	1.5	1.5	2.0	1.6
<b>pH</b>	6.27	6.23	6.46	5.96	5.88	6.18	6.38	6.45	5.96	5.95	5.7	6.41
<b>Sólidos disueltos totales</b> (mg/l)	7.79	10.4	13.55	10.71	11,64	13.23	13.96	11.74	9.02	16.15	12.66	14.53
<b>Sulfatos</b> (mg/l)	6.0	9.0	8.0	7.0	8.0	2.0	7.0	4.0	1.0	1.0	6.0	4.0
<b>Conductividad eléctrica</b> ( $\mu$ S/cm)	12.91	16.98	22.59	17.32	19.36	21.3	22.85	19.82	14.70	26.39	21.29	23.93
<b>Coliformes fecales</b> (NMP/100 ml)	$\geq 1600$	1600	1600	$\geq 1600$	350	$\geq 1600$	$\geq 1600$	900	1600	170	350	1600
<b>Temperatura</b> (°C)	25.5	25.7	26.5	28.0	24.5	24.7	24.9	27.5	28.0	27.9	27.8	27.7

Fuente: Flores y Lucio, 2022.

Realizado por: Meza, Kevin, 2023.

**Tabla 4-12:** Parámetros dentro y fuera de los límites establecidos en el AM 097-A

FINCAS	MUESTRA	PARÁMETROS									
		Cu	Fe	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	pH	SDT	SO <sub>4</sub>	CE	C F	Temp
Finca Luis Prado (uso pecuario)	Muestra 1	ü	x	ü	ü	ü	ü	ü	ü	x	ü
	Muestra 2	ü	x	ü	ü	ü	ü	ü	ü	x	ü
Finca Heraldo Encarnación (uso pecuario)	Muestra 1	ü	ü	ü	ü	ü	ü	ü	ü	x	ü
	Muestra 2	ü	x	ü	ü	ü	ü	ü	ü	x	ü
Finca José Cuenca (uso pecuario)	Muestra 1	ü	ü	ü	ü	ü	ü	ü	ü	ü	ü
	Muestra 2	ü	x	ü	ü	ü	ü	ü	ü	x	ü
	Muestra 3	ü	x	ü	ü	ü	ü	ü	ü	x	ü
Finca La Belleza (uso pecuario)	Muestra 1	ü	x	ü	ü	ü	ü	ü	ü	ü	ü
	Muestra 2	ü	ü	ü	ü	ü	ü	ü	ü	x	ü
	Muestra 3	ü	ü	ü	ü	ü	ü	ü	ü	ü	ü
	Muestra 4	ü	ü	ü	ü	ü	ü	ü	ü	ü	ü
	Muestra 5	ü	x	ü	ü	ü	ü	ü	ü	x	ü
Finca La Belleza (uso agrícola)	Muestra 1	x	ü	ü	ü	ü	ü	ü	ü	ü	ü
	Muestra 2	ü	ü	ü	ü	x	ü	ü	ü	x	ü
	Muestra 3	ü	ü	ü	ü	x	ü	ü	ü	ü	ü
	Muestra 4	ü	ü	ü	ü	x	ü	ü	ü	ü	ü
	Muestra 5	ü	ü	ü	ü	ü	ü	ü	ü	x	ü

**Nota:** Temp = temperatura, x = no cumple y ü = sí cumple.

**Fuente:** Flores y Lucio, 2022.

**Realizado por:** Meza, Kevin, 2023.

#### 4.4. Diseño del sistema de tratamiento

##### 4.4.1. Canal

###### 4.4.1.1. Tirante normal

Antes de determinar el área del canal, se debe conocer el valor del tirante normal. Para ello son necesarios los siguientes valores:

Q	Caudal	0.003 m <sup>3</sup> /s
n	Coefficiente de Manning	0.013
S <sub>o</sub>	Pendiente	0.001 m/m
b	Ancho de fondo	0.342 m

Al reemplazar los valores correspondientes en la ecuación:

$$y_n = (0.034) \left( 1 + \frac{0.034}{0.342} \right)^{\frac{5}{6}} m$$
$$y_n = 0.04 m$$

###### 4.4.1.2. Área del canal

Una vez que se conoce el tirante normal, junto a la base del canal, es posible determinar el área. Los datos quedarían:

b	Base del canal	0.34 m
h	Altura del agua (tirante normal)	0.04 m

Reemplazando estos valores en la ecuación:

$$A = 0.34 m \times 0.04 m$$
$$A = 0.01 m^2$$

###### 4.4.1.3. Radio hidráulico

Al circular por el canal, el agua tendría una velocidad de transporte diferente. Para conocerla se requiere del conocer el radio hidráulico. Los datos para estimarlo son:

b	Base del canal	0.34 m
h	Altura del agua (tirante normal)	0.04 m

Sustituyendo los valores en la ecuación correspondiente:

$$R = \frac{0.34 \text{ m} \times 0.04 \text{ m}}{0.34 \text{ m} + 2(0.04 \text{ m})}$$

$$R = 0.03 \text{ m}$$

#### 4.4.1.4. Velocidad de transporte

La velocidad de transporte se encuentra en función del radio hidráulico, previamente calculado, así como del coeficiente de Manning y el gradiente hidráulico o pendiente; este último, acorde a las características de la zona, se definió en 0.001. Los datos quedarían:

R	Radio hidráulico	0.030 m
n	Coefficiente de Manning	0.013
S	Gradiente hidráulico	0.001 m/m

Al sustituir los datos en la ecuación correspondiente:

$$v = \frac{1}{0.013} \times (0.03)^{\frac{2}{3}} \times (0.001)^{\frac{1}{2}} \text{ m/s}$$

$$v = 0.24 \text{ m/s}$$

#### 4.4.2. Rejillas

##### 4.4.2.1. Sumatoria de la separación entre barras

Para conocer el número de barras que conformarán las rejillas, se debe establecer la sumatoria de la separación entre barras. Acorde a Norma CPE INEN 5 (1992, p.134), en los sistemas de tamizado como rejas o rejillas, el espaciamiento libre máximo entre las barras debe ser de 0.02 m, las dimensiones de las barras, en el sentido del escurrimiento, 20 mm o más y en el sentido transversal al escurrimiento, 5 mm o más. Con base en esas características, se eligieron los valores de separación entre barras y espesor de las mismas:

e	Separación entre barras	20 mm
s	Espesor de las barras	10 mm
b	Ancho del canal	342.34 mm

Al reemplazarlos en la ecuación, se tendría:

$$b_g = \left( \frac{342.34 - 20}{10 + 20} \right) 20 \text{ mm}$$

$$b_g = 214.89 \text{ mm}$$

#### 4.4.2.2. Número de barras

El número de barras depende de la sumatoria de separación entre barras, previamente determinada, y de su separación, estos datos serían:

$b_g$	Sumatoria de la separación entre barras	214.89 mm
e	Separación entre barras	20 mm

Resultando:

$$n_{barras} = \frac{214.89 \text{ mm}}{20 \text{ mm}} - 1$$

$$n_{barras} = 9.7 \text{ barras} \sim 10 \text{ barras}$$

#### 4.4.2.3. Longitud de las barras

La longitud de las barras dependerá de la altura del canal y del ángulo de inclinación de las mismas. La Norma CPE INEN 5 (1992, p. 134), recomienda para las rejillas de limpieza manual una longitud de barras máxima de 2 m y un ángulo máximo con la horizontal de 60°.

h	Altura del canal	0.86 m
$\theta$	Ángulo de inclinación	45 °

Reemplazando los datos en la ecuación:

$$l_{barras} = \frac{0.86 \text{ m}}{\text{sen}(45^\circ)}$$

$$l_{barras} = 1.2 \text{ m}$$

#### 4.4.2.4. Área de espacios entre barras

Al pasar entre las barras de la rejilla, la velocidad del líquido cambia. Para conocer dicha velocidad, se debe partir por el área de los espacios entre las barras, siendo necesarios los siguientes datos:

$b_g$	Sumatoria de la separación entre barras	0.215 m
$l_{barras}$	Longitud de barras	1.2 m

Sustituyendo los valores en la ecuación, resultaría:

$$A_{e.barras} = 0.215 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}$$
$$A_{e.barras} = 0.26 \text{ m}^2$$

#### 4.4.2.5. Velocidad de flujo a través de las barras

La velocidad de flujo depende de:

$Q_{diseño}$	Caudal	0.003 m <sup>3</sup> /s
$A_{e.barras}$	Área de espacios entre barras	0.26 m <sup>2</sup>

Reemplazando valores resultaría:

$$v_{barras} = \frac{0.003 \text{ m}^3/\text{s}}{0.26 \text{ m}^2}$$
$$v_{barras} = 0.01 \text{ m/s}$$

La Norma CPE INEN 5 (1992, p. 134), establece como una característica básica de estos sistemas, que la velocidad máxima entre las barras, en las condiciones más desfavorables, sea de 0.5 m/s.

### 4.4.3. Vertedero triangular

#### 4.4.3.1. Altura de la lámina de agua sobre el vertedero

La altura del agua sobre el vertedero, a partir de la fórmula del caudal para un vertedero triangular de 90°, depende de:

Q	Caudal de diseño	0.003 m <sup>3</sup> /s
---	------------------	-------------------------

Sustituyendo este valor:

$$h = \left( \frac{0.003 \text{ m}^3/\text{s}}{1.4} \right)^{0.4}$$
$$h = 0.086 \text{ m}$$

#### 4.4.3.2. Ancho de la lámina vertiente

Por consiguiente, el ancho de la lámina de la vertiente depende de la altura de la lámina de agua sobre el vertedero:

h    Altura de la lámina de agua sobre el vertedero    0.086 m

Reemplazando los valores en la ecuación:

$$L = 2 (0.086 \text{ m})$$
$$L = 0.171 \text{ m}$$

#### 4.4.3.3. Ancho del canal

Al tratarse de un caudal pequeño, el ancho del canal es una función de:

L    Ancho de la lámina vertiente    0.171 m

Por lo que el ancho del canal es:

$$B = 2 (0.171 \text{ m})$$
$$B = 0.342 \text{ m}$$

#### 4.4.3.4. Caudal unitario promedio

El caudal de diseño conocido y el ancho del canal determinado en la sección anterior permiten conocer el caudal unitario:

Q    Caudal de diseño    0.003 m<sup>3</sup>/s  
B    Ancho del canal    0.342 m

De tal modo que resultaría:

$$q = \frac{0.003 \text{ m}^3/\text{s}}{0.342 \text{ m}}$$
$$q = 0.009 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

#### 4.4.3.5. Altura crítica

Como el caudal unitario ya se conoce y la aceleración de la gravedad es una constante conocida, la altura crítica quedaría:

q	Caudal unitario promedio	0.009 m <sup>3</sup> /s/m
g	Aceleración de la gravedad	9.81 m/s <sup>2</sup>

Sustituyendo valores:

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{(0.009)^2}{9.81}} \text{ m}$$
$$h_c = 0.02 \text{ m}$$

#### 4.4.3.6. Altura al inicio del resalto

La altura del agua al inicio del resalto depende de:

h <sub>c</sub>	Altura crítica	0.020 m
p	Altura desde el vértice del vertedero hasta el fondo del canal aguas abajo	0.62 m

Reemplazando estos valores en la ecuación, resultaría:

$$h_1 = \frac{1.41 (0.02 \text{ m})}{\sqrt{2.56 + \frac{0.62 \text{ m}}{0.02 \text{ m}}}}$$
$$h_1 = 0.005 \text{ m}$$

#### 4.4.3.7. Velocidad al inicio del resalto

La altura al inicio del resalto junto al caudal unitario, permiten conocer la velocidad existente al inicio del resalto hidráulico:

q	Caudal unitario promedio	0.009 m <sup>3</sup> /s/m
h <sub>1</sub>	Altura al inicio del resalto	0.005 m

Sustituyendo valores:

$$v_1 = \frac{0.009}{0.005} \text{ m/s}$$

$$v_1 = 1.819 \text{ m/s}$$

#### 4.4.3.8. Número de froude

El número de Froude se conoce a través de la velocidad al inicio del resalto, la aceleración de la gravedad y la altura al inicio del resalto:

g	Aceleración de la gravedad	9.81 m/s <sup>2</sup>
h <sub>1</sub>	Altura al inicio del resalto	0.005 m
v <sub>1</sub>	Velocidad al inicio del resalto	1.819 m/s

De este modo, el número de Froude sería:

$$F_1 = \frac{1.819 \text{ m/s}}{\sqrt{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.005 \text{ m}}}$$

$$F_1 = 8.37$$

La Norma CPE INEN 5 (1992, p.138) establece que, para conseguir un resalto hidráulico estable, el número de Froude debe estar entre 4.5 y 9.

#### 4.4.3.9. Altura del agua después del resalto

La altura del agua luego del resalto depende de:

$h_1$	Altura al inicio del resalto	0.005 m
$F_1$	Número de Froude	8.37

Reemplazando valores:

$$h_2 = \frac{0.005 \text{ m}}{2} x(\sqrt{1 + 8 (8.37)} - 1)$$

$$h_2 = 0.17 \text{ m}$$

#### 4.4.3.10. Velocidad al final del resalto

Con el caudal unitario promedio y la altura del agua en esta sección, es posible conocer la velocidad al final del resalto:

$h_2$	Altura del agua después del resalto	0.017 m
$q$	Caudal unitario promedio	0.009 m <sup>3</sup> /s/m

Resultando:

$$v_2 = \frac{0.009}{0.017} \text{ m/s}$$

$$v_2 = 0.502 \text{ m/s}$$

#### 4.4.3.11. Energía disipada en el resalto

La energía que se disipa en el resalto hidráulico depende de la altura al inicio y después del resalto:

$h_1$	Altura al inicio del resalto	0.005 m
$h_2$	Altura del agua después del resalto	0.017 m

Por lo que esta energía sería:

$$h_p = \frac{(0.017 - 0.005)^3}{4 (0.005)(0.017)} \text{ m}$$

$$h_p = 0.006 \text{ m}$$

#### 4.4.3.12. Longitud del resalto

La longitud del resalto hidráulico también depende de la altura al inicio y al final del resalto:

$h_1$	Altura al inicio del resalto	0.005 m
$h_2$	Altura del agua después del resalto	0.017 m

Sustituyendo valores:

$$L_m = 6 (0.017 - 0.005) m$$

$$L_m = 0.076 m$$

#### 4.4.3.13. *Distancia del vertedero a la sección 1*

La distancia desde el vertedero a la sección 1 es una función de:

$h_c$	Altura crítica	0.020 m
P	Altura desde el vértice del vertedero hasta el fondo del canal aguas abajo	0.62 m

Reemplazando los valores en la ecuación correspondiente:

$$L' = 4.3 (0.62) \left( \frac{0.020}{0.62} \right)^{0.9} m$$

$$L' = 0.12 m$$

#### 4.4.3.14. *Velocidad promedio en el resalto*

La velocidad media en el resalto resultaría:

$v_1$	Velocidad al inicio del resalto	1.819 m/s
$v_2$	Velocidad al final del resalto	0.502 m/s

Al sustituir valores:

$$v_m = \frac{1.819 + 0.502}{2} m/s$$

$$v_m = 1.161 m/s$$

#### 4.4.3.15. *Tiempo de mezcla*

El tiempo de mezcla depende de la longitud del resalto y la velocidad promedio en el resalto:

$L_m$	Longitud del resalto	0.076 m
$V_m$	Velocidad promedio del resalto	1.161 m/s

Por lo que este parámetro sería:

$$T = \frac{0.076}{1.161} \text{ s}$$

$$T = 0.065 \text{ s}$$

Cumpliendo la condición de que  $T < 1$  s, como indica la norma CPE INEN 5 (1992, p. 138), para este tipo de estructuras.

#### 4.4.3.16. *Gradiente de velocidad*

Por último, el gradiente de velocidad resultaría:

$h_p$	Energía disipada en el resalto	0.006 m
$T$	Tiempo de mezcla	0.065 s

Reemplazando valores:

$$G = 3315.7 \times \sqrt{\frac{0.006}{0.065}} \text{ s}^{-1}$$

$$G = 1004.6 \text{ s}^{-1}$$

Este valor cumple con la recomendación de la norma CPE INEN 5 (1992, p. 138), la cual indica que para este tipo de estructuras el gradiente debe estar entre  $1000 \text{ s}^{-1}$  y  $2000 \text{ s}^{-1}$ .

#### 4.4.4. *Floculador de flujo horizontal*

Con base en la Tabla 3-6, se seleccionó un tiempo de retención de 30 min; además de un floculador de dos secciones.

#### 4.4.4.1. Sección 1

- **Longitud del recorrido de agua**

La longitud del recorrido de agua depende de:

v	Velocidad del agua a través del tanque	0.22	m/s
t <sub>1</sub>	Tiempo en la sección 1	15	min

Al sustituir valores, resulta:

$$L = 0.22 \text{ m/s} \times 900 \text{ s}$$

$$L = 198 \text{ m}$$

- **Volumen en la sección**

El volumen en la sección depende del caudal y el tiempo de retención en la sección:

Q	Caudal	0.003	m <sup>3</sup> /s
t <sub>1</sub>	Tiempo en la sección 1	15	min

Al reemplazar los valores, el volumen sería:

$$V = 0.003 \text{ m}^3/\text{s} \times 900 \text{ s}$$

$$V = 2.7 \text{ m}^3$$

- **Área transversal de un canal entre baffles**

El área transversal de un canal entre baffles depende del caudal y de la velocidad del flujo de agua:

Q	Caudal	0.003	m <sup>3</sup> /s
v	Velocidad del agua a través del tanque	0.22	m/s

El valor resultante es:

$$A = \frac{0.003 \text{ m}^3/\text{s}}{0.22 \text{ m/s}}$$

$$A = 0.014 \text{ m}^2$$

- **Calado de agua en los canales**

El calado del agua en los canales se encuentra en función de:

A	Área transversal de un canal entre baffles	0.014	m <sup>2</sup>
a	Ancho (asumido)	0.35	m

Sustituyendo esta información en la ecuación:

$$d = \frac{0.014 \text{ m}^2}{0.35 \text{ m}}$$

$$d = 0.039 \text{ m}$$

- **Espacio libre entre el tabique y la pared del tanque**

El espacio libre entre el tabique y la pared del tanque es 1.5 veces el ancho a:

a	Ancho (asumido)	0.35	m
---	-----------------	------	---

$$e = 1.5 \times 0.35 \text{ m}$$

$$e = 0.525 \text{ m}$$

- **Longitud efectiva útil del canal**

Con una longitud total de 15 m, la longitud efectiva útil del canal es:

L <sub>t</sub>	Longitud total	9.65	m
e	Espacio libre entre el tabique y la pared del tanque	0.525	m

Al reemplazar en la ecuación

$$l = 9.65 \text{ m} - 0.525 \text{ m}$$

$$l = 9.13 \text{ m}$$

- **Número de canales**

El número de canales se conoce a través de la siguiente ecuación:

L	Longitud del recorrido del agua en la sección 1	198 m
l	Longitud efectiva útil del canal	9.13 m

Los canales resultantes son:

$$n_{canales} = \frac{198 \text{ m}}{9.13 \text{ m}}$$

$$n_{canales} \approx 21 \text{ canales}$$

- **Ancho de la cámara de floculación**

Una vez que se conoce el número de los canales, se conoce el ancho de la cámara de floculación:

$n_{canales}$	Número de canales	21
a	Ancho	0.35 m
b	Ancho de las paredes	0.1 m

$$B_1 = (21 \times 0.35 \text{ m}) + [(21 - 1) \times 0.1 \text{ m}]$$

$$B_1 = 9.66 \text{ m}$$

- **Radio hidráulico de la canaleta**

El radio hidráulico de la canaleta depende de:

A	Área transversal de un canal entre bafles	0.014 m <sup>2</sup>
$d_f$	Calado de agua en los canales (corregido)	0.043 m
a	Ancho	0.35 m

$$R_h = \frac{0.014 \text{ m}^2}{2 (0.043 \text{ m}) + 0.35 \text{ m}}$$

$$R_h = 0.031 \text{ m}$$

- **Pérdidas**

a) Pérdidas por fricción

Las pérdidas por fricción están en función de:

n	Coefficiente de rugosidad del canal (hormigón)	0.012	s/m <sup>1/3</sup>
v	Velocidad del agua a través del tanque	0.22	m/s
L	Longitud del recorrido del agua en la sección 1	198	m
R <sub>h</sub>	Radio hidráulico de la canaleta	0.031	m

$$h_f = \frac{(0.012 \times 0.22)^2 \times 198}{(0.031)^{3/4}} \text{ m}$$
$$h_f = 0.14 \text{ m}$$

b) **Pérdidas localizadas**

Para las pérdidas localizadas es necesario conocer el coeficiente de pérdida de carga en las vueltas, el cual fue definido en 3:

K	Coefficiente de pérdida de carga en las vueltas	3	
g	Aceleración de la gravedad	9.81	m/s <sup>2</sup>
v	Velocidad del agua a través del tanque	0.22	m/s
n <sub>canales</sub>	Número de canales	21	

$$h_{f1} = 3 \times (21 - 1) \times \frac{(0.22)^2}{2 \times (9.81)} \text{ m}$$
$$h_{f1} = 0.15 \text{ m}$$

c) **Pérdidas totales**

Las pérdidas totales resultan al sumar las dos pérdidas anteriores:

$$h_{fT} = 0.14 \text{ m} + 0.15 \text{ m}$$
$$h_{fT} = 0.29 \text{ m}$$

- **Gradiente de velocidad**

Finalmente, el gradiente de velocidad en esta sección resulta de:

$h_{fT}$	Pérdidas totales	0.29 m
$t$	Tiempo en la sección 1	15 min

$$G = 3315.7 \times \sqrt{\frac{0.29}{900}} \text{ s}^{-1}$$
$$G = 59.8 \text{ s}^{-1}$$

Este gradiente se encuentra del rango de  $90 \text{ s}^{-1}$  a  $20 \text{ s}^{-1}$  establecido en la Norma CPE INEN 5 (1992, p.140).

#### 4.4.4.2. Sección 2

- **Longitud del recorrido de agua**

La longitud del recorrido está en función de:

$v$	Velocidad del agua a través del tanque	0.165 m/s
$t_2$	Tiempo en la sección 2	15 min

Al sustituir valores, resulta:

$$L = 0.165 \text{ m/s} \times 900 \text{ s}$$
$$L = 148.5 \text{ m}$$

- **Volumen en la sección**

El volumen en la sección depende del caudal y el tiempo de retención en esta segunda sección:

$Q$	Caudal	0.003 $\text{m}^3/\text{s}$
$t_2$	Tiempo en la sección 2	15 min

Al reemplazar los valores, el volumen sería:

$$V = 0.003 \text{ m}^3/\text{s} \times 900 \text{ s}$$

$$V = 2.7 \text{ m}^3$$

- **Área transversal de un canal entre baffles**

El área transversal de un canal entre baffles resulta:

$$Q \text{ Caudal} \quad 0.003 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v \text{ Velocidad del agua a través del tanque} \quad 0.165 \text{ m/s}$$

El valor resultante es:

$$A = \frac{0.003 \text{ m}^3/\text{s}}{0.165 \text{ m/s}}$$

$$A = 0.018 \text{ m}^2$$

- **Calado de agua en los canales**

El calado del agua en los canales se encuentra en función de:

$$A \text{ Área transversal de un canal entre baffles} \quad 0.018 \text{ m}^2$$

$$a \text{ Ancho (asumido)} \quad 0.4 \text{ m}$$

Sustituyendo esta información en la ecuación:

$$d = \frac{0.018 \text{ m}^2}{0.4 \text{ m}}$$

$$d = 0.045 \text{ m}$$

- **Espacio libre entre el tabique y la pared del tanque**

El espacio libre entre el tabique y la pared del tanque es 1.5 veces el ancho a:

$$a \text{ Ancho (asumido)} \quad 0.4 \text{ m}$$

$$e = 1.5 \times 0.40 \text{ m}$$

$$e = 0.6 \text{ m}$$

- **Longitud efectiva útil del canal**

Con una longitud total de 15 m, la longitud efectiva útil del canal es:

$L_t$	Longitud total	9.66 m
$e$	Espacio libre entre el tabique y la pared del tanque	0.6 m

Al reemplazar en la ecuación:

$$l = 9.66 \text{ m} - 0.6 \text{ m}$$

$$l = 14.40 \text{ m}$$

- **Número de canales**

El número de canales se conoce a través de la siguiente ecuación:

$L$	Longitud del recorrido del agua en la sección 2	148.5 m
$l$	Longitud efectiva útil del canal	14.40 m

Los canales resultantes son:

$$n_{\text{canales}} = \frac{148.5 \text{ m}}{14.40 \text{ m}}$$

$$n_{\text{canales}} = \sim 10 \text{ canales}$$

- **Ancho de la cámara de floculación**

Una vez que se conoce el número de los canales, se conoce el ancho de la cámara de floculación:

$n_{\text{canales}}$	Número de canales	10
$a$	Ancho	0.40 m
$b$	Ancho de las paredes	0.1 m

$$B_2 = (10 \times 0.40 \text{ m}) + [(10 - 1) \times 0.1 \text{ m}]$$

$$B_2 = 5.1 \text{ m}$$

- **Radio hidráulico de la canaleta**

El radio hidráulico de la canaleta depende de:

A	Área transversal de un canal entre bafles	0.018 m <sup>2</sup>
d <sub>f</sub>	Calado de agua en los canales (corregido)	0.050 m
a	Ancho	0.400 m

$$R_h = \frac{0.018 \text{ m}^2}{2 (0.050 \text{ m}) + 0.4 \text{ m}}$$

$$R_h = 0.036 \text{ m}$$

- **Pérdidas**

**a) Pérdidas por fricción**

Las pérdidas por fricción están en función de:

n	Coefficiente de rugosidad del canal (hormigón)	0.012 s/m <sup>1/3</sup>
v	Velocidad del agua a través del tanque	0.165 m/s
L	Longitud del recorrido del agua en la sección 2	148.5 m
R <sub>h</sub>	Radio hidráulico de la canaleta	0.036 m

$$h_f = \frac{(0.012 \times 0.165)^2 \times 148.5}{(0.036)^{3/4}} \text{ m}$$

$$h_f = 0.048 \text{ m}$$

**b) Pérdidas localizadas**

Para las pérdidas localizadas es necesario conocer el coeficiente de pérdida de carga en las vueltas, el cual fue definido en 3:

K	Coefficiente de pérdida de carga en las vueltas	3
g	Aceleración de la gravedad	9.81 m/s <sup>2</sup>
v	Velocidad del agua a través del tanque	0.165 m/s

$$h_{f2} = 3 \times (10 - 1) \times \frac{(0.165)^2}{2 (9.81)} \text{ m}$$

$$h_{f2} = 0.04 \text{ m}$$

### c) Pérdidas totales

Las pérdidas totales resultan al sumar las dos pérdidas anteriores:

$$h_{fT} = 0.048 \text{ m} + 0.04 \text{ m}$$

$$h_{fT} = 0.087 \text{ m}$$

- **Gradiente de velocidad**

Por último, el gradiente de velocidad en esta sección resulta de:

$h_{fT}$	Pérdidas totales	0.087 m
t	Tiempo en la sección 1	15 min

$$G = 3315.7 \times \sqrt{\frac{0.087}{900}} \text{ s}^{-1}$$

$$G = 32.6 \text{ s}^{-1}$$

Este gradiente se encuentra del rango de  $90 \text{ s}^{-1}$  a  $20 \text{ s}^{-1}$  establecido en la Norma CPE INEN 5 (1992, p.140).

## 4.4.5. Sedimentador

### 4.4.5.1. Área superficial de la unidad

El área superficial de la unidad depende de:

Q	Caudal	0.003 m <sup>3</sup> /s
Vs	Velocidad de sedimentación	0.0001 m/s *Asumido en 0.60 cm/min (Fernández et al., 2021)

Sustituyendo valores, esta velocidad resulta:

$$A_s = \frac{0.003 \text{ m}^3/\text{s}}{0.0001 \text{ m/s}}$$
$$A_s = 30 \text{ m}^2$$

#### 4.4.5.2. Dimensiones del sedimentador

Las dimensiones del sedimentador son:

L <sub>1</sub>	Separación entre la entrada y pantalla difusora	0.75 m
H	Profundidad	2 m
B	Ancho	2.8 m
L <sub>2</sub>	Longitud de la zona de sedimentación	10.91 m
L	Longitud total	11.66 m
H'	Altura máxima (considerando la pendiente)	2.2 m

La longitud de la zona de sedimentación corresponde a:

$$L_2 = \frac{A_s}{B}$$
$$L_2 = \frac{30 \text{ m}^2}{2.8 \text{ m}}$$
$$L_2 = 10.91 \text{ m}$$

La altura máxima es equivalente a:

$$H' = H + (0.1 \times H)$$
$$H' = 2 \text{ m} + (0.1 \times 2 \text{ m})$$
$$H' = 2.2 \text{ m}$$

Comprobando la relación de largo y ancho, que debe encontrarse entre 3 y 6:

$$\frac{L}{B} = \frac{11.66 \text{ m}}{2.08 \text{ m}}$$
$$\frac{L}{B} = 4$$

El cumplimiento de la relación largo/profundidad, debe encontrarse entre 5 y 20:

$$\frac{L}{H} = \frac{11.66 \text{ m}}{2 \text{ m}}$$
$$\frac{L}{H} = 6$$

#### 4.4.5.3. Velocidad horizontal

La velocidad de arrastre en la unidad se encuentra en función de:

Q Caudal 0.003 m<sup>3</sup>/s

H Profundidad 2 m

B Ancho 2.8 m

Correspondiendo a:

$$V_H = \frac{100 * 0.003}{2 * 2.8} \text{ cm/s}$$
$$V_H = 0.055 \text{ cm/s}$$

La relación de velocidades horizontal y de sedimentación:

$$\frac{V_h}{V_s} = \frac{L}{H}$$
$$\frac{V_h}{V_s} = 6 \qquad \frac{L}{H} = 6$$

#### 4.4.5.4. Tiempo de retención

El tiempo de retención al interior del reactor, es una función de:

Q Caudal 0.003 m<sup>3</sup>/s

H Profundidad 2 m

As Área superficial de la unidad 30 m<sup>2</sup>

$$T_o = \frac{30 * 2}{3600 * 0.003} \text{ h}$$

$$T_o = 5.6 h$$

#### 4.4.5.5. Número de orificios

El área total de los orificios es una función de:

$$Q \text{ Caudal} \quad 0.003 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_o \text{ Velocidad en los orificios} \quad 0.1 \text{ m/s}$$

$$A_o = \frac{0.003 \text{ m}^3/\text{s}}{0.1 \text{ m/s}}$$

$$A_o = 0.03 \text{ m}^2$$

El área de cada orificio, considerando un diámetro de 4 cm:

$$a_o = \pi r^2$$

$$a_o = \pi (0.002 \text{ m})^2$$

$$a_o = 0.0013 \text{ m}^2$$

De este modo, el número de orificios en la pantalla difusora, serían:

$$n = \frac{0.03 \text{ m}^2}{0.0013 \text{ m}^2}$$

$$n = 24$$

Este número de orificios se ha distribuido de la siguiente manera:

$$n_c \text{ Número de columnas} \quad 4$$

$$n_f \text{ Número de filas} \quad 6$$

Las que deberán cumplir un espaciado de:

$$a_1 \text{ Espaciamiento entre filas} \quad 0.24 \text{ m}$$

$$a_2 \text{ Espaciamiento entre columnas} \quad 0.55 \text{ m}$$

#### 4.4.5.6. Vertedero de salida

La altura de agua sobre el vertedero depende de:

Q Caudal	0.003 m <sup>3</sup> /s
B Ancho	2.8 m

$$H_v = \left[ \frac{0.003}{1.84 (2.8)} \right]^{2/3} m$$
$$H_v = 0.01 m$$

#### 4.4.6. Filtro lento de arena

Se han considerado las siguientes características:

**Tabla 4-13:** Características del lecho filtrante

Capas	Tamaño	Espesor
Primera capa Grava	1.0 a 2.5 cm	10 cm
Segunda capa Grava fina	0.5 a 1.0 cm	10 cm
Tercera capa Arena fina	0.3 – 1.0 mm	90 cm (mínimo)

Fuente: UNICEF, 2008, p.16.

Realizado por: Meza, Kevin, 2023.

##### 4.4.6.1. Número de unidades

El número de unidades depende del caudal de diseño y de un factor establecido, dando como resultado:

$$N = 0.044 x \sqrt{259.2 m^3/día}$$
$$N = 0.71 \approx 1$$

##### 4.4.6.2. Coeficiente de mínimo de costo

Al requerir de una unidad de filtración, el coeficiente mínimo de costo sería:

$$K = \frac{2(1)}{1+1}$$

$$K = 1$$

#### 4.4.6.3. Área superficial

La Norma CPE INEN 5 (1992, p.149), establece una velocidad de filtración en estas estructuras, comprendido entre 0.1 m/h a 0.2 m/h, adoptando este último valor. Luego de determinado el coeficiente mínimo de costo y el caudal conocido, el área superficial resultaría:

$$A_s = \frac{259.2}{1 \times 4.8} m^2$$

$$A_s = 54 m^2$$

#### 4.4.6.4. Longitud de la unidad

Con el área superficial conocida, la longitud de la unidad correspondería:

$$L = (54 m^2 \times 1)^{1/2}$$

$$L = 7.35 m$$

#### 4.4.6.5. Ancho de la unidad

El ancho de la unidad quedaría

$$b = \left( \frac{54 m^2}{2} \right)^{1/2}$$

$$b = 7.35 m$$

La relación entre la longitud y el ancho:

$$\frac{L}{b} = \frac{7.35 m}{7.35 m}$$

$$\frac{L}{b} = 1$$

Encontrándose entre los valores recomendados de 1 y 3.

#### 4.4.6.6. Sistema de drenaje y distribución

Partiendo de la recomendación de la Norma CPE INEN 5 (1992, p.149), sobre una velocidad de ingreso por las perforaciones de hasta 0.3 m/s; se consideró un diámetro de ½” para la tubería de recolección.

Conocido el diámetro, el área resultante del orificio ( $A_o$ ):

$$A_o = 0.0001 \text{ m}^2$$

Con la velocidad (máxima) de ingreso del agua por las perforaciones, se escogió un valor de 0.15 m/s. Con la fórmula de caudal, se sabe que el caudal que ingresa por estas aberturas es:

$$Q_o = 1.90015E - 05 \text{ m}^3/\text{s}$$

El número de orificios ( $N_o$ ) requeridos para todo el caudal de diseño, correspondería a:

$$N_o = \frac{0.003 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{1.90015E - 05 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}$$
$$N_o \approx 158$$

Para distribuir estos orificios en una serie de tuberías, en la base del filtro, se considera que deben existir 7 tuberías laterales, espaciadas 1.05 m, con 23 orificios cada una. Con estas características es posible establecer el diámetro de la tubería, primero partiendo de su caudal:

$$Q_l = 23 \times 1.90015E - 05 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_l = 0.00043 \text{ m}^3/\text{s}$$

Empleando la fórmula del caudal y asumiendo una velocidad al interior de ellas similar a la del ingreso por las perforaciones, esta sería:

$$A_l = 0.0029 \text{ m}^2$$

Con la fórmula del área de un círculo, el diámetro de la misma sería:

$$D_l = 0.060 \text{ m}$$

Equivalente a una tubería de 2 ½”.

Por último, para el colector principal de este sistema, se asume una velocidad de 0.2 m/s (acorde al máximo recomendado) y el caudal de diseño, resultando un área de:

$$A_p = 0.015 \text{ m}^2$$

Con este valor, el diámetro de la tubería recolectora:

$$D_p = 0.14 \text{ m}$$

Correspondiendo a un diámetro de 5 ½”.

#### **4.4.7. Reservorio**

Considerando el caudal de 0.05 m<sup>3</sup>/s, el volumen requerido para un abastecimiento continuo de 24 horas sería:

$$V = 4.44 \text{ m}^3$$

A partir de este volumen, las dimensiones para contener dicho volumen serían de:

$$d = \sqrt[3]{4.44 \text{ m}^3}$$

$$d = 1.64 \text{ m}$$

#### 4.5. Discusión de resultados

El desarrollo del presente estudio partió del levantamiento de información correspondiente a caudales en fuentes, para esto se establecieron puntos de muestreo distribuidos de la siguiente forma: dos en la finca Luis Prado, dos en la finca Heraldo Encarnación, tres en José Cuenca y cinco en la finca La Belleza. Estos puntos fueron debidamente codificados y georreferenciados.

Luego de establecidos los puntos en los cuerpos de agua, se procedió a la medición de varios parámetros necesarios para obtener el caudal. Para esto se utilizó tanto el método volumétrico como el método de flotadores.

Se midió el ancho y tres profundidades ( $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$ ) en centímetros, el área hidráulica se es el producto de estos parámetros, mientras que el caudal es el producto de esta última y la velocidad, para el caso de los flotadores. En el caso del método volumétrico se determinó el volumen por unidad de tiempo. Los resultados de caudal se expresaron en L/s. En todos los casos se realizaron tres mediciones para cada punto en cada finca.

El análisis estadístico descriptivo muestra que, para la Finca Luis Prado, el valor promedio del caudal se encuentre entre 0.34 y 13.06 L/s, siendo mayor en el punto FLPP<sub>1</sub>. En el caso de la Finca Heraldo Encarnación, se evidencian caudales entre 1.75 a 5.81 L/s. En cuanto a la Finca José Cuenca, los caudales promedio se sitúan entre 0.01 hasta 50.33 L/s, se evidencia que los caudales son elevados en FJCP<sub>2</sub> durante todos los monitoreos, mientras que en los otros dos puntos los caudales son bajos. En lo referente a la Finca la Belleza, se presentan caudales de entre 0.01 a 14.97 L/s.

El cálculo de la demanda de agua se realizó en función de un uso agrosilvopastoril, compuesto de 3 hectáreas de cada finca destinadas al cultivo de yuca, plátano, cacao y café, más la crianza de 20 cabezas de ganado bovino. La superficie total comprende 12 hectáreas.

En lo referente a cultivos, con estas consideraciones y más características intrínsecas de la zona, el software CROPWAT permitió estimar la cantidad de agua necesaria para riego seccionado para cada etapa de cultivo. Como resultado se determinó que dependiendo del cultivo, en la etapa inicial se requieren de 0.02 a 0.04 L/s/ha, en la etapa de desarrollo se demanda de 0.01 a 0.04 L/s/ha, mientras que en la etapa media se necesitan de entre 0.02 a 0.03 L/s/ha, por su parte en la etapa final se requiere desde 0.00 hasta 0.18 L/s, para los cultivos de cacao y café respectivamente. En tal virtud, se determina que las necesidades de riego están dadas por el valor máximo

requerido, es decir 0.18 L/s/ha. Esto da como resultado un total requerido, para las 12 hectáreas, un caudal de 2.16 L/s, a esto se considera un factor de maximización del 25 % lo que implica un total de consumo de 2.7 L/s, equivalentes a 233.28 m<sup>3</sup>/día.

En lo referente a consumo de agua para consumo pecuario, se consideraron los valores de producción de leche promedio, consumo de agua por animal y consumo de agua para limpieza de instalaciones, equivalentes a 5.6 L de leche/vaca/día, 3.85 - 5 L de agua/L de leche producida/día y 23-149.5 L agua/vaca/día respectivamente. En base a estas consideraciones se estimó un consumo de 177.5 L/día, si se considera que son 20 bovinos el consumo se determina en 3550 L/día, finalmente considerando el factor de maximización, se tiene un total de consumo de 4437.5 L/día, equivalentes a 4.44 m<sup>3</sup>/día.

Tras la adición de la demanda de agua para consumo pecuario y agrícola se obtuvo un consumo neto de consumo neto: 237.72 m<sup>3</sup>/día, equivalente a 2.8 L/s o 0.0003 m<sup>3</sup>/s, este valor corresponde al caudal de diseño utilizado en el sistema de tratamiento.

El estado de calidad del agua cruda en los cuerpos de agua analizados se obtuvo del estudio realizado por Flores y Lucio (2022), quienes midieron parámetros físicos, químicos y microbiológicos. Posteriormente compararon estos resultados con la normativa ambiental vigente, Acuerdo Ministerial 097-A para uso agrícola y pecuario, y determinaron que las concentraciones de cobre, hierro, pH y coliformes fecales superaron los límites permisibles. De esta manera, a partir de estos parámetros se determinó el tipo de tratamiento a realizar para obtener agua acorde a los estándares de calidad para uso agrosilvopastoril.

El diseño del sistema de tratamiento parte por el diseño del canal, antes de esto se determinó el valor del tirante normal o altura del agua, para ello se utilizó el coeficiente de Mannig, el resultado de este cálculo equivale a 0.04 m. El área del canal resulta del producto del tirante normal por la base del canal equivalente a 0.34 m, como resultado se obtiene un área de 0.01 m<sup>2</sup>. Los valores anteriores se utilizaron para calcular el radio hidráulico, cuyo estimación da como resultado un valor de 0.03 m. Por su parte, la velocidad de transporte del agua se calculó en función del radio hidráulico, coeficiente de Manning y el gradiente hidráulico equivalentes a 0.030 m, 0.013 y 0.001 m/m respectivamente.

Para la instalación de barras se consideró una separación de 20 mm, lo que da un estimado de 10 barras requeridas. Considerando la variación de velocidad al pasar por entre las barras, dado que el área disminuye, se determina en 0.01 m/s, esto cumple con lo dictado por la normativa CPE

INEN 5 (1992, p. 134), que establece que la velocidad máxima entre las barras, en las condiciones más desfavorables, debería ser de 0.5 m/s.

Se consideró el diseño de un vertedero de forma triangular con un ángulo de  $90^\circ$ , del cual se determinó que para el caudal de  $0.003 \text{ m}^3/\text{s}$ , la altura debe ser de 0.086 m. En cuanto a la base del triángulo equivalente al ancho del canal se calcula en 0.342 m. El caudal unitario promedio, por su parte se calculó en  $0.009 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ . A partir de estos valores y la aceleración de la gravedad, se calculó la altura crítica, que resulta en 0.02 m. La altura al inicio del resalto se calculó en 0.005 m, mientras que la velocidad al inicio del resalto en 1.819 m/s. La velocidad al inicio de resalto hidráulico se calculó dividiendo el caudal para la altura el inicio del resalto, dando como resultado 1.819 m/s. Por su parte el número de Froude fue calculado en 8.837, este resultado es un valor adimensional que relaciona las fuerzas de inercia y gravedad que actúan sobre el fluido. En cuanto a la altura del agua después del resalto se calculó en 0.17 m. Al final del resalto hidráulico, la velocidad del agua es de 0.502 m/s. La energía disipada en el resalto se calcula a partir de la altura del agua al inicio del resalto y después del mismo, este valor se calcula en 0.006 m. De la misma manera se calcula la longitud del resalto, el resultado es de 0.076. Por su parte, la distancia del vertedero a la sección 1, que depende de la altura crítica y la altura desde el vértice del vertedero hasta el fondo del canal aguas abajo, da como resultado 0.12 m. La velocidad promedio en el resalto es de 1.161 m/s. El tiempo de mezcla fue determinado en 0.065 s, considerando que de acuerdo con la norma CPE INEN 5 (1992, p. 138), este valor debe ser inferior a un segundo, se cumple con los requerimientos. Finalmente, el gradiente de velocidad queda determinado en  $1004.6 \text{ s}^{-1}$ , dando cumplimiento también con la norma CPE INEN 5 (1992, p. 138) la cual establece un rango de  $1000 \text{ s}^{-1}$  hasta  $2000 \text{ s}^{-1}$ . De esta manera quedan sintetizados los parámetros calculados para el diseño del vertedero de forma triangular.

En el diseño del floculador de flujo horizontal se consideró con dos secciones y un tiempo de retención de 30 minutos. Para la sección 1 del floculador, a partir de los valores de velocidad del agua a través del tanque y tiempo en la sección 1 se calculó la longitud del recorrido de agua, se determinó la longitud del recorrido de agua en 198 m. A partir del caudal de diseño y tiempo en la sección 1, que se consideró de 15 minutos, se determinó un volumen de  $2.7 \text{ m}^3$ . El cociente del caudal y la velocidad del agua a través del tanque, representa el área transversal de un canal entre bales, para este caso de caudal en  $0.014 \text{ m}^2$ . Mientras tanto, el cociente del área transversal del canal entre baffles y el ancho que fue asumido en 0.35 m da como resultado un calado de 0.039 m. Dado que el espacio libre entre el tabique y la pared del tanque se considera en 1.5 veces o el 150 % del ancho, se considera un resultado de 0.525 m. A partir de sustituir el espacio libre entre el tabique y la pared del tanque de la longitud total se obtuvo la longitud efectiva útil del canal

que corresponde a 9.13 m. El cociente de la longitud del recorrido del agua en la sección 1 y la longitud efectiva útil del canal da como resultado el número de canales en 21. A partir del número de canales, el ancho y el ancho de las paredes se calculó el ancho de la cámara de floculación en 9.66 m. Mientras que el radio hidráulico de la canaleta se calculó desde los valores del área transversal de un canal entre baffles, el calado de agua en los canales y el ancho, determinándose un radio de 0.031 m. En cuanto a las pérdidas, se calcularon las mismas por fricción y localizada en 0.14 m y 0.15 m respectivamente, que sumadas dan 0.29 m, lo que representa las pérdidas totales. Para finalizar, con los valores de pérdidas totales y tiempo en la sección 1 se obtuvo el gradiente de velocidad que resulta ser de  $59.8 \text{ s}^{-1}$ , este gradiente cumple con la norma CPE INEN 5 (1992, p.140), dado que está dentro del rango de  $90 \text{ s}^{-1}$  a  $20 \text{ s}^{-1}$ .

En cuanto a la sección 2 del floculador, a partir de los valores de velocidad del agua a través del tanque de 0.165 m/s y tiempo en la sección 2, que corresponde a 15 minutos, se calculó la longitud del recorrido de agua, se determinó la longitud del recorrido de agua en 148.5 m. A partir del caudal de diseño y tiempo en la sección 1, se determinó un volumen de  $2.7 \text{ m}^3$ . El cociente del caudal y la velocidad del agua través del tanque, representa el área transversal de un canal entre baffles, para este caso de caculo en  $0.018 \text{ m}^2$ . Mientras tanto, el cociente del área transversal del canal entre baffles y el ancho que fue asumido en 0.40 m da como resultado un calado de 0.045 m. Dado que espacio libre entre el tabique y la pared del tanque se considera en 1.5 veces o el 150 % del ancho, se considera un resultado de 0.6 m. A partir de sustituir el espacio libre entre el tabique y la pared del tanque de la longitud total se obtuvo la longitud efectiva útil del canal que corresponde a 14.40 m. El cociente de la longitud del recorrido del agua en la sección 2 y la longitud efectiva útil del canal da como resultado el número de canales en 10. A partir del número de canales, el ancho y el ancho de las paredes se calculó el ancho de la cámara de floculación en 5.1 m. Mientras que el radio hidráulico de la canaleta se calculó desde los valores del área transversal de un canal entre baffles, el calado de agua en los canales y el ancho, determinándose un radio de 0.036 m. En cuanto a las pérdidas, se calcularon las mismas por fricción y localizada en 0.048 m y 0.04 m respectivamente, que sumadas dan 0.087 m, lo que representa las pérdidas totales. Para finalizar, con los valores de pérdidas totales y tiempo en la sección 1 se obtuvo el gradiente de velocidad que resulta ser de  $32.6 \text{ s}^{-1}$ , este gradiente cumple con la norma CPE INEN 5 (1992, p.140), dado que está dentro del rango de  $90 \text{ s}^{-1}$  a  $20 \text{ s}^{-1}$ .

Para el diseño del sedimentador, se partió por calcular el área superficial de la unidad, esta se determinó a partir del caudal de diseño, de  $0.003 \text{ m}^3/\text{s}$  y la velocidad de sedimentación de 0.0001 m/s, este valor se obtuvo bibliográficamente de (Fernández et al. 2021, p. 7), por lo tanto, el área queda en  $0.30 \text{ m}^2$ . Las dimensiones del sedimentador se establecieron como sigue: separación entre la

entrada y pantalla difusora en 0.75 m, profundidad en 2 m, ancho en 2.8 m, longitud de la zona de sedimentación en 10.91m, longitud total en 11.66 m, altura máxima de 2.2 m; para determinar estas medidas, se consideró que relación de largo o y ancho, que debe encontrarse entre 3 y 6, y la relación largo/profundidad, debe encontrarse entre 5 y 20. A partir del caudal, profundidad y ancho se calculó la velocidad horizontal en 0.055 cm/s. La relación de velocidades horizontal y de sedimentación es de 6 a 6. A partir del caudal, profundidad y área superficial de la unidad se estableció el tiempo de retención en 5.6 horas. Para el número de orificios, antes se consideró un diámetro de 4 cm lo que da un área de 0.0013 m<sup>2</sup>, de esta manera se determina un total requerido se 24 orificios, distribuidos en 4 columnas con un espaciado de 0.24 m y 6 filas con un espaciado de 0.55m. Para finalizar, el vertedero de salida es de 2.8 m de ancho y 0.01 m de alto.

Para el tratamiento del filtro lento de arena, se consideraron tres capas. La primera capa es de grava de 1.0 a 2.5 cm y espesor de 10 cm. La segunda capa es de grava fina de 0.5 a 1.0 cm y un espesor de 10 cm. La tercera capa es de arena fina de 0.3 – 1.0 mm y un mínimo de 90 cm de espesor. El número de unidades y el coeficiente mínimo de costo se establecieron en 1. Considerando la norma CPE INEN 5 (1992, p.149), se consideró una velocidad de filtración de 0.2 m/h, por lo que el área sería de 54 m<sup>2</sup>. El diseño es cuadrado, por lo que tanto el largo como el ancho se establecieron en 7.35 m. Par el diseño del sistema de drenaje y distribución se consideró la Norma CPE INEN 5 (1992, p.149), que establece una velocidad de 0.3 m/s. El diámetro de la tubería se consideró de ½". De esto se deduce que el caudal que ingresa es de 1.90015E – 05 m<sup>3</sup>/s. Para estos requerimientos, el número de orificios se considera en 158, distribuidos en 7 tuberías laterales, espaciadas 1.05 m, con 23 orificios cada una. Para el colector se consideró también una velocidad de 0.2 m/s y el caudal de diseño, dando como resultado un área de 0.015 m<sup>2</sup>, para lo que se requiere una tubería de 0.14 m equivalente a 5 ½".

Finalmente, para el reservorio, si se considera la necesidad de un abastecimiento continuo de 48 horas, el volumen requerido es de 518.4 m<sup>3</sup>. Considerando un reservorio de forma circular, se requiere de un diámetro de 8.3 m.

## CAPÍTULO V

### 5. APLICACIÓN Y EVALUACIÓN DE RESULTADOS

En la siguiente tabla se detalla las dimensiones de cada uno de los sistemas que componen la planta potabilizadora de agua para riego de 3 L/s, así como sus respectivos planos.

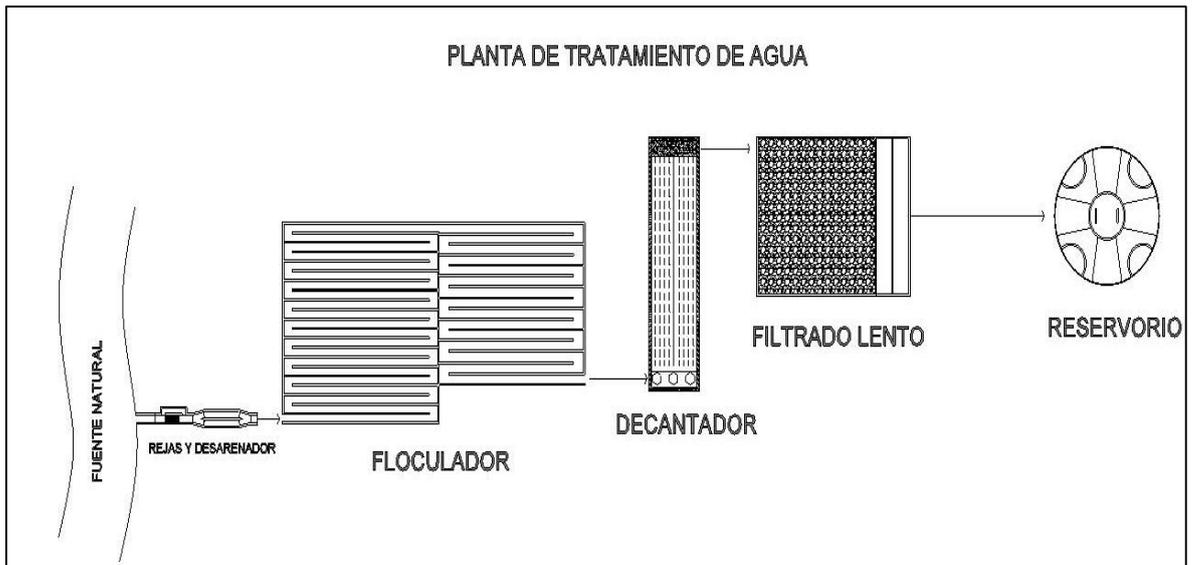
**Tabla 5-1:** Dimensiones de cada sistema de la planta potabilizadora

Sistema	Componentes	Dimensiones				
		Longitud	Área	Volumen	Tiempo	velocidad
Canal	Tirante normal	0.04 m	-	-	-	-
	Área del canal	-	0.01 m <sup>2</sup>	-	-	-
	Radio hidráulico	0.03 m	-	-	-	-
	Velocidad de transporte	-	-	-	-	0.24 m/s
	Ancho de fondo	0.342 m	-	-	-	-
Rejillas	Separación entre barras	20 mm	-	-	-	-
	Espesor de las barras	10 mm	-	-	-	-
	Longitud de barras	1.2 m	-	-	-	-
	Área de espacios entre barras	-	0.26 m <sup>2</sup>	-	-	-
	Velocidad de flujo a través de las barras	-	-	-	-	0.01 m/s
Vertedero triangular	Altura de la lámina de agua sobre el vertedero	0.086 m	-	-	-	-

	Ancho de la lámina vertiente	0.171 m	-	-	-	-
	Altura crítica	0.02 m	-	-	-	-
	Longitud de resalto	0.076 m	-	-	-	-
	Velocidad promedio en el resalto	-	-	-	-	1.161 m/s
	Tiempo de mezcla	-	-	-	0.065 s	-
Floculador de flujo horizontal sección 1	Longitud del recorrido de agua	198 m	-	-	-	-
	Volumen en la sección	-	-	2.7 m <sup>3</sup>	-	-
	Espacio libre entre tabique y pared de tanque	0.525 m	-	-	-	-
	Ancho de la cámara de floculación	9.66 m	-	-	-	-
	Radio hidráulico de la canaleta	0.031 m	-	-	-	-
Floculador de flujo horizontal sección 2	Longitud del recorrido de agua	148.5 m	-	-	-	-
	Volumen en la sección	-	-	2.7 m <sup>3</sup>	-	-
	Espacio libre entre tabique y pared de tanque	0.6 m	-	-	-	-

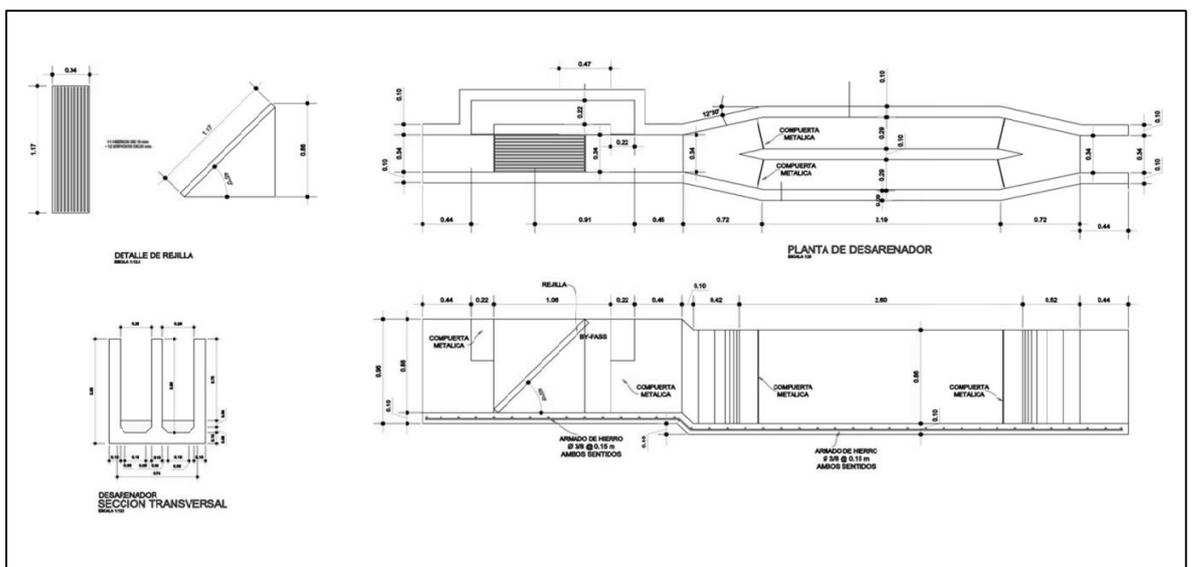
	Ancho de la cámara de floculación	5.1 m	-	-	-	-
	Radio hidráulico de la canaleta	0.036 m	-	-	-	-
Sedimentador	Separación entre la entrada y salida difusora	0.75 m	-	-	-	-
	profundidad	2 m	-	-	-	-
	Ancho	2.8 m	-	-	-	-
	Longitud de zona de sedimentación	10.91 m	-	-	-	-
	Longitud total	11.66 m	-	-	-	-
	Altura máxima (considerando la pendiente)	2.2 m	-	-	-	-
Filtro lento de arena	Arena fina	90 cm	-	-	-	-
	Grava fina	10 cm	-	-	-	-
	Grava gruesa	10 cm	-	-	-	-
	Longitud	7.35 m	-	-	-	-
	Ancho	7.35 m	-	-	-	-

Realizado por: Meza, Kevin, 2023.



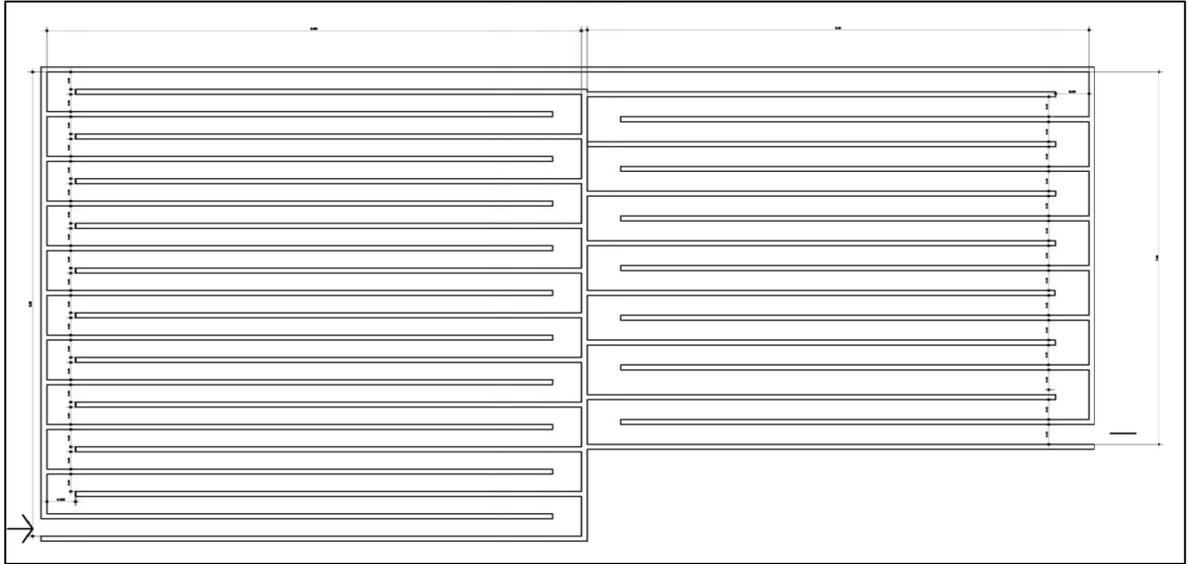
**Ilustración 5-1:** Planta potabilizadora de agua para uso agrosilvopastoril

Realizado por: Meza, Kevin, 2023.



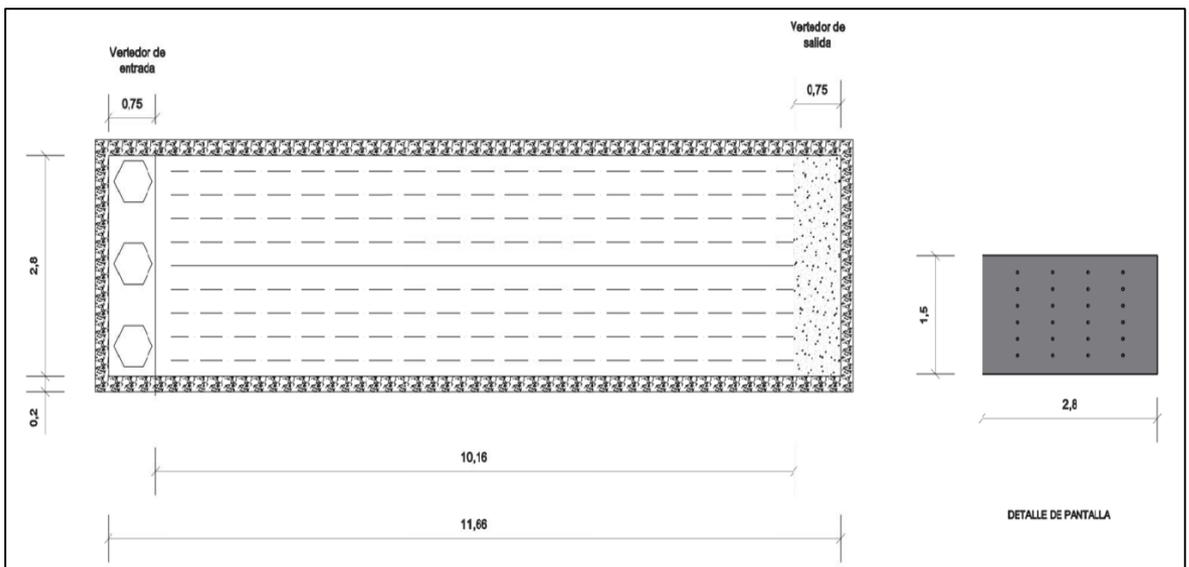
**Ilustración 5-2:** Sistemas de rejillas y desarenador

Realizado por: Meza, Kevin, 2023.



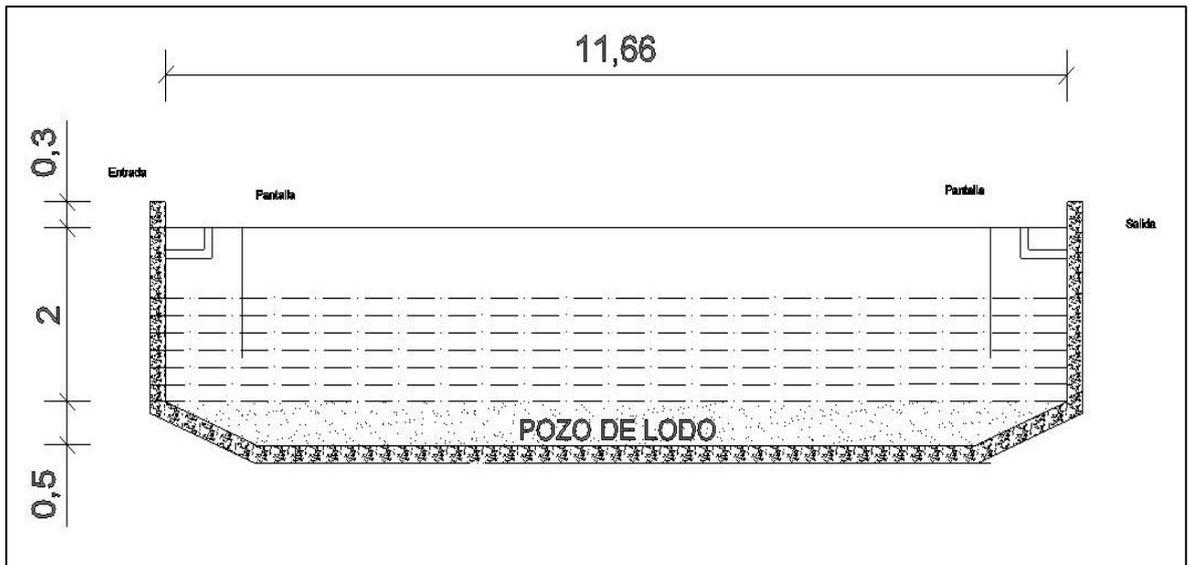
**Ilustración 5-3:** Flocculador en dos secciones

Realizado por: Meza, Kevin, 2023.



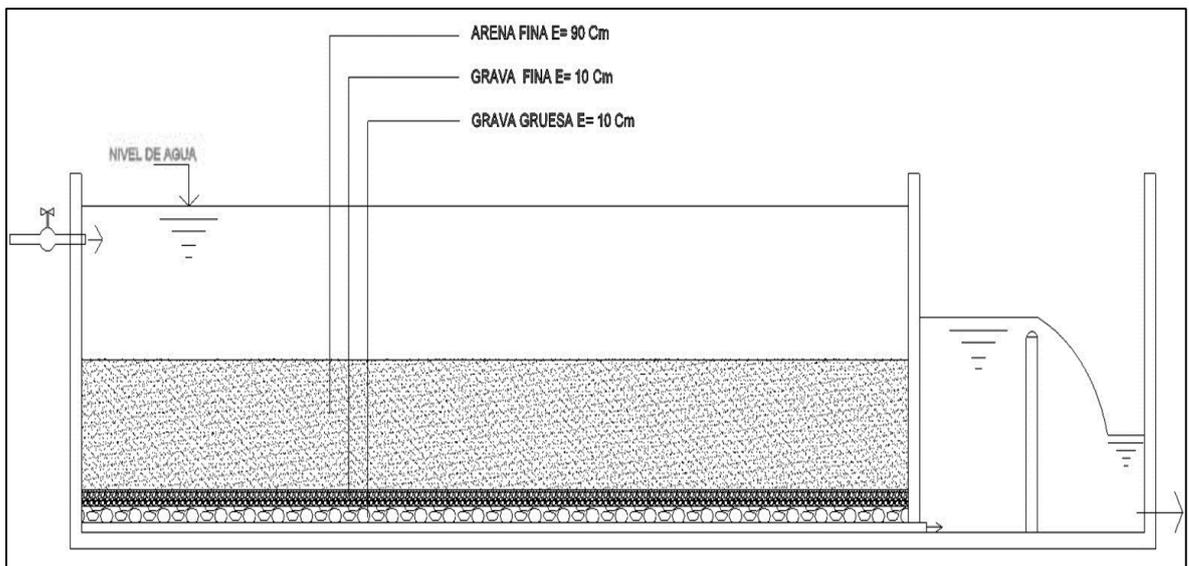
**Ilustración 5-4:** Sedimentador

Realizado por: Meza, Kevin, 2023.



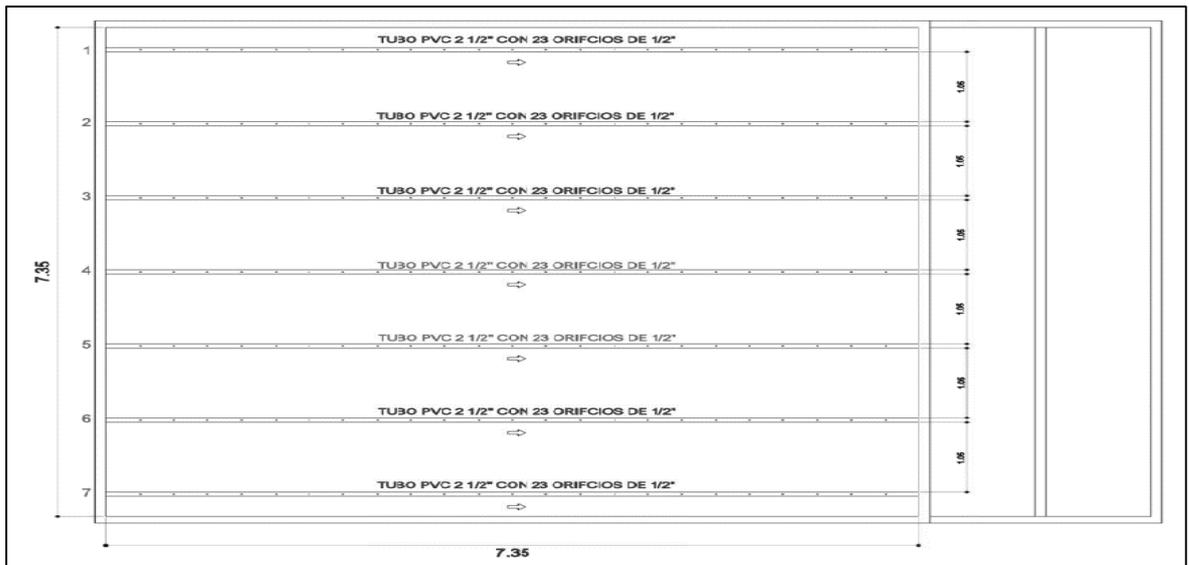
**Ilustración 5-5:** Sedimentador – pozo de lodo

Realizado por: Meza, Kevin, 2023.



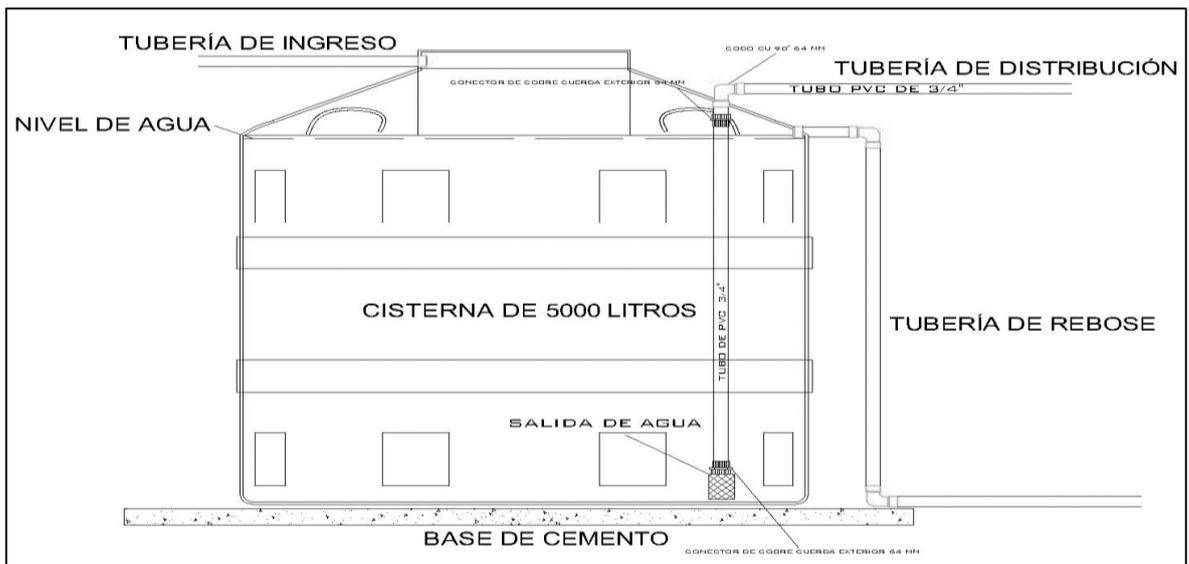
**Ilustración 5-6:** Filtro lento

Realizado por: Meza, Kevin, 2023.



**Ilustración 5-7:** Filtro lento-nivel de fondo

Realizado por: Meza, Kevin, 2023.



**Ilustración 5-8:** Reservorio

Realizado por: Meza, Kevin, 2023.

## CAPÍTULO VI

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones

El análisis de los caudales de las fuentes de agua proporciona una visión crucial de la disponibilidad hídrica. Estos datos son fundamentales para comprender la sostenibilidad de los recursos acuáticos en las áreas de estudio y forman la base para decisiones informadas en la gestión del agua.

La aplicación del SPSS en el análisis de datos ha proporcionado una comprensión profunda de la variabilidad en los caudales. Las medidas de dispersión obtenidas son herramientas valiosas para identificar patrones, evaluar la consistencia de los datos y respaldar de manera robusta las conclusiones estadísticas, fortaleciendo así la base de conocimientos para la gestión efectiva del agua.

La cuidadosa selección de un sistema de tratamiento convencional se ha basado en criterios rigurosos, asegurando la elección de un método eficiente y técnicamente viable. Esta decisión representa un paso significativo hacia la garantía de la calidad del agua, estableciendo las bases para la implementación exitosa de prácticas de gestión hídrica en las áreas de estudio.

En conjunto, este estudio proporciona una base integral para el diseño y la implementación de un sistema de tratamiento de agua adaptado a las características específicas del área de estudio y las necesidades de uso silvopastoril.

## **6.2. Recomendaciones**

Realizar monitoreos de parámetros físico-químicos y microbiológicos, de manera que se pueda conocer la calidad, más allá de un momento o contexto puntual, y extender a diferentes épocas del año para determinar variaciones en la concentración de diferentes factores nocivos en el recurso hídrico.

Utilizar el software SPSS de manera exhaustiva, aprovechando sus capacidades para el análisis estadístico avanzado. Realizar análisis descriptivos detallados, calcular medidas de dispersión como desviaciones estándar y rangos, y presentar los resultados de manera clara permitirá una interpretación precisa de la variabilidad de los datos y respaldará las conclusiones de la investigación.

Para asegurar la sostenibilidad y el rendimiento a largo plazo de dicho sistema, se recomienda la creación de un manual de mantenimiento detallado. Este manual servirá como una herramienta esencial proporcionando una guía sistemática y detallada para la gestión efectiva de los equipos y la infraestructura.

Evaluar la viabilidad técnica para la posible implementación del sistema de tratamiento calculado y diseñado en el presente estudio, de manera que se cuente con herramientas que hagan posible mejoramiento de la calidad del agua destinada al uso agrosilvopastoril.

## BIBLIOGRAFÍA

**097-A. ACUERDO MINISTERIAL.** *Anexos de Normativa, reforma libro vi del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente*

**ABU HASAN, H.; et al.** "A review of biological drinking water treatment technologies for contaminants removal from polluted water resources". *Journal of Water Process Engineering* [en línea] 2020, vol. 1 (33), pp.1-25. [Consulta: 20 agosto 2023]. ISSN 2214-7144. Disponible en: 10.1016/j.jwpe.2019.101035.

**ADELOJU, S.B.; et al.** "Arsenic Contamination of Groundwater and Its Implications for Drinking Water Quality and Human Health in Under-Developed Countries and Remote Communities—A Review". *Applied Sciences*, [en línea] 2021, vol. 11 (4), pp.1-87. [Consulta: 20 agosto 2023]. ISSN 2076-3417. Disponible en: 10.3390/app11041926.

**AGUDELO, E.; et al.** "Efecto de un medio filtrante de arena común y carbón activado sobre la calidad del agua para uso de las tropas del Ejército Nacional de Colombia en el área de operaciones". *Briújula. Semilleros de Investigación* [en línea], 2019, vol. 7 (4), pp. 26-30. [Consulta: 12 agosto 2023]. Disponible en: [https://pdfs.semanticscholar.org/b59d/7d4a336cfbbaa12dddefbf758ab5219ed0e3.pdf?\\_gl=1\\*1ia vpb5\\*\\_ga\\*MTg2MDk0MDcyNS4xNjc2MjU4MTY3\\*\\_ga\\_H7P4ZT52H5\\*MTcwNjAzMTgwN S40LjEuMTcwNjAzMjc3NS41My4wLjA](https://pdfs.semanticscholar.org/b59d/7d4a336cfbbaa12dddefbf758ab5219ed0e3.pdf?_gl=1*1ia vpb5*_ga*MTg2MDk0MDcyNS4xNjc2MjU4MTY3*_ga_H7P4ZT52H5*MTcwNjAzMTgwN S40LjEuMTcwNjAzMjc3NS41My4wLjA).

**ARCGIS RESOURCES.** Georreferenciación y sistemas de coordenadas. *ArcGIS Resources* [en línea]. 2023. [Consulta: 12 agosto 2023]. Disponible en: <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n000000s000000.htm>

**ARENAS, N.; et al.** "Evaluación de la calidad del agua para uso agropecuario en predios ganaderos localizados en la región del Sumapaz (Cundinamarca, Colombia)". *Archivos de Medicina (Col)*, vol. 17, no. 2 (2017), pp.4-9.

**ARIAS, E.; et al.** "Diseño hidráulico de plantas de tratamiento de agua potable". *Scielo* [en línea]. 2022, vol. 1 (2), pp.1-34. [Consulta: 20 agosto 2023]. ISSN 8574-9652. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22350/4/DISEN%CC%83O%20HIDRA%CC%81ULICO%20DE%20PLANTAS%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20AGUA%20POTABLE.pdf>.

**ARTEAGA, R.** "Programa CROPWAT para planeación y manejo del recurso hídrico". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* [en línea], 2011, vol. 2(2), pp. 179-195. [Consulta: 12 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v2n2/v2n2a1.pdf>

**BANCO MUNDIAL.** *El agua en la agricultura*. [en línea]. Ecuador: Nuevos Horizontes, 2022. [Consulta: 20 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture>.

**BARRENECHEA, A.** *Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua*. [en línea]. Lima,-Perú: SN, 2004. [Consulta: 20 agosto 2023]. Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/uno.pdf>.

**BRANDT, M.J.; et al.** "Chemistry, Microbiology and Biology of Water". *Twort's Water Supply* [en línea]. 2017, vol. 1(2), pp. 1-321. [Consulta: 20 agosto 2023]. ISSN 4854-9510. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780081000250000077>.

**BRUNI, M. & SPUHLER, D.** Rapids and filtration. *Sustainable Sanitation and Water Management* [en línea]. 2018. [Consulta: 12 agosto 2023]. Disponible en: <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/filtración-rápida-de-arena#:~:text=Por%20lo%20general%2C%20la%20arena,filtrada%20fluya%20hacia%20el%20drenaje>

**CABRERA MOLINA, E.; et al.** "Determinación de nitratos y nitritos en agua: Comparación de costos entre un método de flujo continuo y un método estándar". *Revista de la Sociedad Química de México*, vol. 47, no. 1(2003), pp. 3-12.

**CARBOTECNIA.** Desinfección de agua. *Carbotecnia* [en línea]. 2023. [Consulta: 12 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/desinfeccion/metodos-para-desinfeccion-del-agua/>

**CÁRDENAS, J.** *Calidad del agua para estudiantes de ciencias ambientales*. 2. S.l.: Ecoe Ediciones. 2022. ISBN 978-958-50-3273-6.

**CASTILLO HERRERA, S.; et al.** "Evaluación de la calidad de aguas subterránea de la parroquia la peña, provincia el oro, ecuador". *Ciencia UNEMI* [en línea], 2017, vol. 1 (33), pp.1-25. [Consulta: 20 agosto 2023]. ISSN 2214-7144. Disponible en:10.29076/issn.2528-7737vol12iss31.2019pp64-73p.

**CENTROS PARA EL CONTROL Y LA PREVENCIÓN DE ENFERMEDADES.** *Cómo se contaminan los alimentos.* [en línea]. Ecuador: Ediciones Tungurahua, 2022. [Consulta: 20 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.cdc.gov/foodsafet y/es/production-chain-es.html>.

**CHACÓN, M.** *Análisis físico y químico de la calidad del agua.* Bogotá, Colombia: Ediciones USTA, 2020, p. 3.

**CHAMORRO, G.** *Estimación del caudal por el método de flotadores* [en línea]. Ecuador: Ediciones Publicas, 2022. [Consulta: 20 agosto 2023]. Disponible en: [https://www.senamhi.gob.pe/usr/cdc/AFORO\\_X\\_FLOTADORES.pdf?fbclid=IwAR14oXNtNxN0q7\\_7VMARKzdfDDSyG80ihooFVTW9AKS6z44UdVtUMx56ACw#:~:text=Con%20este%20método%20se%20calcula,o%20se%20utilice%20el%20correntómetro](https://www.senamhi.gob.pe/usr/cdc/AFORO_X_FLOTADORES.pdf?fbclid=IwAR14oXNtNxN0q7_7VMARKzdfDDSyG80ihooFVTW9AKS6z44UdVtUMx56ACw#:~:text=Con%20este%20método%20se%20calcula,o%20se%20utilice%20el%20correntómetro).

**COELLO, J.; et al.** "Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los cuerpos de agua para uso agropecuario". *Agroecología Global* [en línea], 2023, vol. 5(9), pp. 5-20. [Consulta: 12 agosto 2023]. Disponible en: <https://fundacionkoinonia.com.ve/ojs/index.php/agroecologiaglobal/article/view/2509/4606>

**CONTEXTO GANADERO.** Enfermedades que provoca la ingesta de agua contaminada en bovinos. *Ganadería* [en línea]. 2019. Disponible en: <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/enfermedades-que-provoca-la-ingesta-de-agua-contaminada-en-bovinos>.

**DURAK, Z.E.; et al.** "Nitrate In Water And Metabolism Effects". *The Turkish Journal of Occupational / Environmental Medicine and Safet y*, vol. 2, no. 1 (2017), pp.2-12.

**ELIKA, J.** *Infecciones alimentarias por consumo de frutas y hortalizas frescas.* *ELIKA Seguridad Alimentaria* [en línea]. Ecuador: Libros Nuevos, 2022. [Consulta: 20 agosto 2023]. Disponible en: <https://seguridadalimentaria.elika.eus/infecciones-alimentarias-por-consumo-de-frutas-y-hortalizas-frescas/>.

**FERNÁNDEZ, J.; et al.** "Sedimentabilidad de partículas floculentas en aguas con alto contenido de color y baja turbiedad, coaguladas con FeCl<sub>3</sub> + PAC versus PAC". *TecnoLógicas* [en línea] 2020, vol. 1 (23), pp.1-25. [Consulta: 20 agosto 2023]. ISSN 2214-7144. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/3442/344265925003/html/>.

**FLORES, M.** *Métodos de separación- complemento* [en línea]. S.l.: Farmacognosia. 2017. [Consulta: 12 agosto 2023]. Disponible en: <http://www.fcen.unp.edu.ar/sitio/farmacognosia/wp-content/uploads/2017/03/COMPL-TEORICO-UNIDAD-2-Métodos-de-Separación-2017-FARGNOSI-FCN-UNPSJB.pdf>

**FONG SILVA, W.; et al.** "Evaluación de la precisión y exactitud para la determinación gravimétrica de sólidos disueltos totales en aguas". *Ciencia e Ingeniería: Revista*, vol. 2, no. 2 (2015), pp.1-65.

**GARCÉS, M.** Efecto de las actividades antrópicas sobre las características fisicoquímicas del río Ambato [en línea] (Trabajo de Titulación) (Maestría). Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería en sistemas, electrónica e industrial. Ambato, Ecuador. 2021. pp. 1-157. [Consulta: 12 agosto 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/34004/1/t1908mqum.pdf>

**GARCÍA GONZÁLEZ, J.; et al.** "Determinación del índice de calidad del agua en ríos de Santo Domingo de los Tsáchilas, Ecuador". *Ingeniería del Agua*, vol. 25, no. 2 (2021), pp.4-12.

**GIL, A. E. & PASSINO, K. M.** "Literature review of feedback control for drinking water purification". *Dept. of Electrical and Computer Engineering, The Ohio State University, USA* [en línea], 2004, vol. 1 (1), pp.1-98. [Consulta: 20 agosto 2023]. ISSN 1520-0020. Disponible en: <https://www2.ece.ohio-state.edu/~passino/waterpur.pdf>.

**GORDE, S.P. & JADHAV, M.V.** "Assessment of water quality parameters: a review". *J Eng Res Appl*, vol. 3, no. 6 (2020), pp.1-5.

**GUNTER, H.; et al.** "Advances in quantifying microbial contamination in potable water: Potential of fluorescence-based sensor technology". *WIREs Water* [en línea] 2020, vol. 1 (10), pp.1-57. [Consulta: 20 agosto 2023]. ISSN 0125-0110. Disponible en: 10.1002/wat2.1622.

**HAN, X.; et al.** "Discrimination of Chemical Oxygen Demand Pollution in Surface Water Based on Visible Near-Infrared Spectroscopy". *Water*, [en línea] 2022, vol. 2(5), pp.6-98. [Consulta: 20 agosto 2023]. ISSN 0201-0502. Disponible en: 10.3390/w14193003.

**HENDRICKS, D.** *Fundamentals of Water Treatment Unit Processes: Physical, Chemical, and Biological*. Barcelona-España: Libro Impresos, 2010, p.3.

**HERNÁNDEZ, J.** *Diseño, implementación y calibración de un medidor de salinidad para agua* [en línea]. Ecuador: Impresiones Espinoza, 2022. [Consulta: 20 agosto 2023]. Disponible en: <https://core.ac.uk/reader/189134970>.

**HERNÁNDEZ, M.** *Sólidos Suspendidos Totales en agua secados 103-105 °C* [en línea]. Ecuador: INAMHI, 2007. [Consulta: 20 agosto 2023]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/S%C3%B3lidos+Suspendidos+Totales+en+aguas.pdf/f02b4c7f-5b8b-4b0a-803a-1958aac1179c>.

**HUESA, J.** Pretratamientos aguas residuales. *JHUESA* [en línea]. 2023. [Consulta: 12 agosto 2023]. Disponible en: <https://jhuesa.com/tecnologias/pretratamientos>

**HUSSAIN, M.** "Total Dissolve Salts (TDS)" *Trainee of process plant/water laboratory* [en línea]. Ecuador: Publicaciones Nueva Ciencia, 2017. [Consulta: 20 agosto 2023]. Disponible en: 10.13140/RG.2.2.11858.30406.

**IBANEZ, J.; et al.** "Water Characterization". *Scielo*, vol. 11, n°3 (2014), p.3.

**IDREES, N.; et al.** "Groundwater contamination with cadmium concentrations in some West U.P. Regions, India". *Saudi Journal of Biological Sciences*, [en línea] 2018, vol. 25 (7), pp.1-83. [Consulta: 20 agosto 2023]. ISSN 1319-5854. Disponible en: 10.1016/j.sjbs.2018.07.005.

**IGLESIAS, J.M., et al.** "Diseños agrosilvopastoriles en el contexto de desarrollo de una ganadería sustentable. Apuntes para el conocimiento". *Pastos y Forrajes*, vol. 34, no. 3 (2011), p.2.

**JABLOŃSKA, J., & KLUSKA, M.** "Determination of Mercury Content in Surface Waters Using an Environmentally Non-Toxic Terminating Electrolyte". *Bullet in of Environmental*

*Contamination and Toxicology* [en línea], 2020, vol. 105 (4), pp.1-65. [Consulta: 20 agosto 2023]. ISSN 0005-8520. Disponible en: 10.1007/s00128-020-02992-w.

**JAIN, R.; et al.** "Threats. Drinking Water Security for Engineers, Planners, and Managers". *Drinking Water Security for Engineers, Planners, and Managers* [en línea]. 2014, vol. 1 (2), p. 6. [Consulta: 10 abril 2023]. ISBN 1524-1014. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780124114661000033>.

**JIMÉNEZ, B.E.**, *La Contaminación Ambiental en México*. México: Editorial Limusa, 2001, p.5.

**JORDÁN, J.; et al.** *Evaluación de la calidad microbiológica del agua en producción pecuaria en municipios de Risaralda, Colombia-2017* [en línea] Ecuador: Ediciones Santilla, 2022. [Consulta: 20 agosto 2023]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11059/7490>.

**KHATRI, N., & TYAGI, S.** "Influences of natural and anthropogenic factors on surface and groundwater quality in rural and urban areas". *Frontiers in Life Science*, vol. 8, no. 1 (2015), pp.1-76.

**KUMAR GUPTA, V.; et al.** "Chemical treatment technologies for waste-water recycling—an overview". *RSC Advances*, vol. 2, no. 16 (2014), p.5.

**KUMAR, V.; et al.** "Studies on high iron content in water resources of Moradabad district (UP), India" *Water Science*, vol. 31, no. 1, pp. 4-12.

**LI, J.; et al.** "Analytical Approaches for Determining Chemical Oxygen Demand in Water Bodies: A Review". *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, vol. 48, no. 1 (2018), pp. 15-35.

**LÓPEZ VIGO, O.; et al.** "Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto actual de la ganadería tropical". *Pastos y Forrajes*, vol. 40, no. 2 (2017), pp.1-98.

**LOZANO, W. & LOZANO, G.** *Potabilización del agua: Principios de diseño, control de procesos y laboratorio*. Ecuador: Libros Ciencias, 2005, p.34.

**MALAKAR, A.; et al.** "Irrigation Water Quality—A Contemporary Perspective". *Water*, vol. 11, no. 7 (2019), pp. 1-87.

**MANNE, R.; et al.** "Water quality and risk assessment of copper content in drinking water stored in copper container". *Applied Water Science*, vol. 12, no. 3 (2022), pp.1-89.

**MARTÍNEZ ORJUELA, M.; et al.** "Evaluación de la turbiedad como parámetro indicador del tratamiento en una planta potabilizadora municipal". *Revista UIS Ingenierías*, vol. 19, no. 1 (2020), p.31.

**MARTÍNEZ VASALLO, A.; et al.** "Calidad e inocuidad en la leche cruda de una cadena de producción de una provincia occidental de Cuba". *Revista de Salud Animal*, vol. 37, no. 2 (2015), pp.1-57.

**MARTÍNEZ, C.** *Potabilización del agua*. España: Editorial E-learning, 2019, p.4.

**MAZILLE, F. & SHUHLER D.** Coagulación-Floculación. *Sustainable Sanitation and Water Management* [en línea]. 2018. [Consulta: 12 agosto 2023]. Disponible en: <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/coagulacion%2C-floculacion-y-separacion>

**MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA.** *Enfermedades transmitidas por agua y alimento* [en línea]. Ecuador: Santillán, 2023. [Consulta: 20 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/ETAS-SE-10.pdf>.

**MORADELL, I. & RENAU, A.** "Contaminación de aguas subterráneas. Algunos ejemplos". *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, vol. 27, no. 1 (2019), pp. 2-89.

**MORALES, E.; et al.** "Estudios recientes de metales pesados en peces: Una revisión bibliográfica con énfasis en Perú". *Revista Científica Dékamu Agropec* [en línea], 2020, vol. 3 (1), pp.1-25. [Consulta: 20 agosto 2023]. ISSN 2709-3190. Disponible en: [10.55996/dekamuagropec.v3i1.68](https://doi.org/10.55996/dekamuagropec.v3i1.68).

**MURALIKRISHNA, I.V. & MANICKAM, V.** "Principles and Design of Water Treatment", *Environmental Management* [en línea] 2017, vol. 1 (1), pp.1-248. [Consulta: 20 agosto 2023]. ISSN 2510-3201. Disponible en: [Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128119891000117](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128119891000117).

**NATIONAL RESEARCH COUNCIL.** *Copper in Drinking Water* [en línea]. Ecuador: Lacta libro, 2000. [Consulta: 20 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK225402/>.

**OMER, N. H.** *Water Quality Parameters* [en línea]. Ecuador: Nuevos Horizontes, 2022. [Consulta: 20 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.intechopen.com/chapters/69568>.

**ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN, & CENTRO-EULA.** *Manual para un sistema de monitoreo ambiental participativo para mejorar la capacidad de adaptación al cambio climático de las comunidades pesqueras y acuícolas en Chile* [en línea]. Ecuador: Imprenta Iba, 2022. [Consulta: 20 agosto 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.4060/cb3579es>.

**ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA.** *Los contaminantes agrícolas: una grave amenaza para el agua del planeta.* FAO [en línea]. Ecuador: Imprenta Narrativas, 2018. [Consulta: 20 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.fao.org/news/story/es/item/1141818/icode/>.

**OVALLE, R.Y., & MORENO, C.A.** *Cartilla guía para la ejecución de prácticas de laboratorio en saneamiento de agua potable* [en línea]. Ecuador: S/N, 2022. [Consulta: 20 agosto 2023]. Disponible en: <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/08b9c617-3755-4ecc-8c76-ae8232f676e>.

**OXFAM.** ¿Cuáles son las principales causas de la contaminación del agua? *OXFAM Intermón* [en línea]. 2022. [Consulta: 20 agosto 2023]. Disponible en: <https://blog.oxfamintermon.org/cuales-son-las-principales-causas-de-la-contaminacion-del-agua/>

**PAKHARUDDIN, N.H.; et al.** "Water treatment process using conventional and advanced methods: A comparative study of Malaysia and selected countries". *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 880, no. 1 (2021), p.54.

**QUINTEROS, J.A.; et al.** "Evaluación de la calidad de agua para riego y aprovechamiento del recurso hídrico de la quebrada Togllahuayco". *Siembra*, vol. 6, no. 2 (2020), p.67.

**RAFFO, E. & RUIZ, E.** "Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno". *Industrial Data*, vol. 17, no. 1 (2014), p. 56.

**RAMALHO, R.S.** *Tratamiento de aguas residuales*. Segunda Edición. Quito-Ecuador: Reverte, 2018, p.50.

**RAMOS ASCUE, J.D.** "Medición en línea de la DQO mediante correlación del coeficiente de absorción espectral de luz uv". *Producción Limpia*, vol. 13, no. 2 (2018), p.5.

**RAOLA, O. & PÉREZ, F.** *¿El agua!?* Ecuador: Editorial Científico Técnica, 2018. p.8.

**RODRÍGUEZ LICEA, G.; et al.** *Transición de una producción de monocultivo a un sistema agrosilvopastoril con enfoque de economía circular*. [en línea], Ecuador: Disques Ediciones, 2022. [Consulta: 20 agosto 2023]. Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/137706>.

**ROJAS SOSA, I.; et al.** *Impacto Ambiental De La Industria Ganadera* [en línea]. Ecuador: Ediciones Nuevas, 2022. [Consulta: 20 agosto 2023]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/profile/Carolyn-Mir-Espinosa/publication/364151432\\_Instituto\\_Tecnologico\\_de\\_Santo\\_Domingo\\_Ciencias\\_Basicas\\_y\\_Ambientales\\_Comunicacion\\_ambiental\\_y\\_medios\\_digitales\\_Seccion\\_01\\_IMPACTO\\_AMBIENTAL\\_DE\\_LA\\_INDUSTRIA\\_GANADERA/links/633c5be5ff870c55cefe3272/Instituto-Tecnologico-de-Santo-Domingo-Ciencias-Basicas-y-Ambientales-Comunicacion-ambiental-y-medios-digitales-Seccion-01-IMPACTO-AMBIENTAL-DE-LA-INDUSTRIA-GANADERA.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Carolyn-Mir-Espinosa/publication/364151432_Instituto_Tecnologico_de_Santo_Domingo_Ciencias_Basicas_y_Ambientales_Comunicacion_ambiental_y_medios_digitales_Seccion_01_IMPACTO_AMBIENTAL_DE_LA_INDUSTRIA_GANADERA/links/633c5be5ff870c55cefe3272/Instituto-Tecnologico-de-Santo-Domingo-Ciencias-Basicas-y-Ambientales-Comunicacion-ambiental-y-medios-digitales-Seccion-01-IMPACTO-AMBIENTAL-DE-LA-INDUSTRIA-GANADERA.pdf).

**ROMERO ROJAS, J.A.** *Potabilización del agua* [en línea]. Ecuador: Lower Lesgales, 2021. [Consulta: 20 agosto 2023]. Disponible en: [https://www.academia.edu/43327791/Romero\\_Rojas\\_Jairo\\_Alberto\\_Potabilizaci%C3%B3n\\_De\\_l\\_Agua](https://www.academia.edu/43327791/Romero_Rojas_Jairo_Alberto_Potabilizaci%C3%B3n_De_l_Agua).

**SAMBONI RUIZ, N.E.; et al.** "Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua". *Ingeniería e Investigación*, vol. 27, no. 3 (2007), p. 59.

**SECRETARÍA DEL AGUA & AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DEL AGUA.** *Estrategia Nacional de Calidad del Agua* [en línea]. Ecuador: Franjas Negras, 2016. [Consulta: 20 agosto 2023]. Disponible en: [https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/Estrategia-Nacional-de-Calidad-del-Agua\\_2016-2030.pdf](https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/Estrategia-Nacional-de-Calidad-del-Agua_2016-2030.pdf).

**SIGLER, A., & BAUDER, J.** *Alcalinidad, pH, y sólidos disueltos totales. Well Educated Educación en el Agua de Pozo.* Ecuador: Gustavo Inicial, 2018, p.5.

**SUMMERS, J. K.** *Water Quality: Science, Assessments and Policy* [en línea]. Ecuador: Horizontes Nuevos, 2022. [Consulta: 20 agosto 2023]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.77531>.

**TARTABULL, T., & BETANCOURT, C.** "La calidad del agua para el riego. Principales indicadores de medida y procesos que la impactan". *Revista Científica Agroecosistemas*, vol. 4, no. 1 (2016), p.5.

**TOMAZ, A.; et al.** "Soil salinity risk in a climate change scenario and its effect on crop yield" *Climate Change and Soil Interactions* [en línea]. 2020, vol. 1 (1), pp. 351-396. [Consulta: 20 agosto 2023]. ISSN 1025-9632. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128180327000138>.

**TUNINETTI, M.; et al.** "Water Debt Indicator Reveals Where Agricultural Water Use Exceeds Sustainable Levels". *Water Resources Research*, vol. 55, no. 3 (2019), p.6.

**UNICEF.** *Calidad del Agua en Sistemas de Abastecimiento en Poblaciones Rurales Dispersas* [en línea]. Ecuador: Municipio de la Ciudad, 2022. [Consulta: 20 agosto 2023]. Disponible en: [https://www3.paho.org/par/dmdocuments/MENU\\_DE\\_ALTERNATIVAS\\_DE\\_TRATAMIENTO\\_Final.pdf](https://www3.paho.org/par/dmdocuments/MENU_DE_ALTERNATIVAS_DE_TRATAMIENTO_Final.pdf).

**URIBE, H.** *Métodos de medición de agua en canales de riego* [en línea]. Ecuador: Leyes Lexis, 2022. [Consulta: 20 agosto 2023]. Disponible en: <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/6903>.

**URSELER, N.L.; et al.** "Calidad Microbiológica Y Usos Del Agua Subterránea En Establecimientos Agropecuarios Del Centro-Sur De Córdoba, Argentina". *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, vol. 35, no. 4 (2019), p.65.

**VALDIVIA-AVILA, A.L.; et al.** "Factores que influyen en la calidad higiénico-sanitaria de la leche en dos lecherías". *Pastos y Forrajes*, vol. 43, no. 4 (2020), p.43.

**VARGAS, L., & PARDÓN, M.** *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual III : evaluación de plantas de tecnología apropiada* [en línea]. Lima, Perú: Sin Nada, 2021. [Consulta: 20 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.ingenieriasanitaria.com.pe/pdf/manual2/>.

**VELA, N.; et al.** *Recent Overview on the Abatement of Pesticide Residues in Water by Photocatalytic Treatment Using TiO<sub>2</sub>. Titanium Dioxide*. Ecuador: Industria Papelera, 2019, p.2.

**VIGNESWARAN, S.; et al.** *Conventional Water Treatment Technologies. Wastewater Recycling, Reuse, and Reclamation*. USA: Books Green, 2019, p.21

## ANEXOS

### ANEXO A: CRITERIO DE CALIDAD DE AGUAS PARA RIEGO AGRÍCOLA

TABLA 3: CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA RIEGO AGRICOLA			
PARAMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aceites y grasas	Película Visible		Ausencia
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico	As	mg/l	0,1
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,05
Cinc	Zn	mg/l	2,0
Cobalto	Co	mg/l	0,01
Cobre	Cu	mg/l	0,2
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	1000
Cromo	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,1
Flúor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Huevos de parásitos			Ausencia
Litio	Li	mg/l	2,5
Materia flotante	Visible		Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,001
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Nitritos	NO <sub>2</sub>	mg/l	0,5
Oxígeno Disuelto	OD	mg/l	3
pH	pH		6-9
Plomo	Pb	mg/l	5,0
Selenio	Se	mg/l	0,02
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/l	250
Vanadio	V	mg/l	0,1

**ANEXO B: PARÁMETROS DE LOS NIVELES DE LA CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO**

**TABLA 4: PARÁMETROS DE LOS NIVELES DE LA CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO**

PROBLEMA POTENCIAL	UNIDADES	GRADO DE RESTRICCIÓN *		
		Ninguno	Ligero Moderado	Severo
<u>Salinidad: (1)</u>	<u>milimhos/cm</u>	<u>0,7</u>	<u>0,7-3,0</u>	<u>&gt;3,0</u>
<u>CE (2) SDT</u>	<u>mg/l</u>	<u>450</u>	<u>450-2000</u>	<u>&gt;2000</u>
<u>(3)</u> <u>Infiltración: (4)</u>				
<u>RAS=0-3yCE=</u>		<u>0, 7</u>	<u>0, 7-0, 2</u>	<u>&lt;0, 2</u>
<u>RAS=3-6yCE=</u>		<u>1,</u>	<u>1, 2-0,</u>	<u>&lt;0, 3</u>
<u>RAS=6-</u>		<u>2</u>	<u>3,1,9□0</u>	<u>&lt;0,5</u>
<u>RAS=12-</u>		<u>2,9</u>	<u>2,9-1, 3</u>	<u>&lt;1,3</u>
<u>20yCE=</u>		<u>5,0</u>	<u>5,0-2, 9</u>	<u>&lt;2, 9</u>
<u>Toxicidad por iones</u>	<u>meq/l</u>	<u>3,0</u>	<u>3,0-9,0</u>	<u>&gt;9</u>
<u>específicos (5) Sodio:</u>	<u>meq/l</u>	<u>3,0</u>	<u>3,0</u>	<u>&gt;10</u>
<u>Irrigación superficial RAS (6)</u>	<u>meq/l</u>	<u>4,0</u>	<u>4,0-10,0</u>	<u>&gt;10</u>
<u>Aspersión</u>	<u>meq/l</u>	<u>3,0</u>	<u>3,0 0,7-</u>	<u>&gt;3</u>
<u>Cloruros:</u>	<u>mg/l</u>	<u>0,7</u>	<u>3,0</u>	
<u>Irrigación superficial</u>				
<u>Aspersión</u>				
<u>Boro:</u>				
<u>Efectos misceláneos (7)</u>				
<u>Nitrógeno (N□NO3□)</u>	<u>mg/l</u>	<u>5,0</u>	<u>5,0-30,0</u>	<u>&gt;30</u>
<u>Bicarbonato (HCO3□) Solo</u>				
<u>aspersión</u>	<u>meq/l</u>	<u>1,5</u>	<u>1,5-8,5</u>	<u>&gt;8,5</u>
<u>pH</u>	<u>Rango normal</u>		<u>6,5-8,4</u>	

\* Es el grado de limitación, que indica el rango de factibilidad para el uso del agua en riego.

- (1) Afecta a la disponibilidad de agua para los cultivos
- (2) CE =Conductividad eléctrica del agua de regadío (1milimhos/cm=1000micromhos/cm)
- (3) SDT = Sólidos disueltos totales
- (4) Afecta a la tasa de infiltración del agua en el suelo
- (5) Afecta a la sensibilidad de los cultivos
- (6) RAS, relación de absorción de sodio ajustada
- (7) Afecta a los cultivos susceptibles

**ANEXO C: CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA USO PECUARIO****TABLA 5: CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS PARA USO PECUARIO**

<b>PARAMETRO</b>	<b>EXPRESADO COMO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR MAXIMO</b>
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico	As	mg/l	0,2
Boro	B	mg/l	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,05
Ci nc	Zn	mg/l	25,0
Cobalto	Co	mg/l	1,0
Cobre	Cu	mg/l	2
Cromo	<u>Cr</u> <sup>+6</sup>	mg/l	1,0
Mercurio	Hg	mg/l	0,01
Nitratos	NO <sub>3</sub>	mg/l	50
Nitritos	NO <sub>2</sub>	mg/l	0,2
Plomo	Pb	mg/l	0,05
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100ml	1000
Sólidos disueltos totale s	SDT	mg/l	3000

## ANEXO D: VALORES DE CAUDALES

### FINCA HERALDO ENCARNACIÓN

Valores correspondientes a los caudales, medidos en l/s.

FHE P1M1	FHE P1M2	FHE P1M3	FHE P2M1	FHE P2M2	FHE P2M3
3,17	1,74	5,71	3,17	1,74	4,85
3,27	1,79	5,89	3,18	1,75	4,88
3,28	1,80	5,90	3,16	1,73	4,84
3,21	1,76	5,79	3,17	1,74	4,86
3,23	1,77	5,82	3,18	1,75	4,88
3,22	1,77	5,81	3,19	1,75	4,89
3,19	1,75	5,75	3,19	1,75	4,88
3,21	1,78	5,86	3,18	1,75	4,87
3,22	1,77	5,80	3,17	1,74	4,86
3,19	1,77	5,81	3,18	1,75	4,87

### FINCA LUIS PRADO

Valores correspondientes a los caudales, medidos en l/s.

FLP P1M1	FLP P1M2	FLP P1M3	FLP P2M1	FLP P2M2	FLP P2M3
1,26	1,05	1,48	0,56	0,36	0,90
1,30	1,08	1,52	0,55	0,35	0,87
1,30	1,04	1,49	0,53	0,33	0,82
1,29	1,07	1,52	0,53	0,34	0,85
1,32	1,03	1,55	0,56	0,34	0,90
1,34	1,11	1,57	0,53	0,34	0,85
1,27	1,06	1,49	0,54	0,35	0,85
1,35	1,11	1,53	0,54	0,35	0,84
1,32	1,10	1,55	0,53	0,34	0,84
1,31	1,10	1,55	0,51	0,33	0,81

### FINCA JOSÉ CUENCA

Valores correspondientes a los caudales, medidos en l/s.

FJC P1M1	FJC P1M2	FJC P1M3	FJC P2M1	FJC P2M2	FJC P2M3	FJC P3M1	FJC P3M2	FJC P3M3
0,36	0,24	0,57	39,13	29,82	50,27	0,0072	0,0060	0,0084
0,37	0,24	0,58	39,16	29,85	50,31	0,0071	0,0059	0,0084
0,35	0,22	0,55	39,13	28,63	49,13	0,0072	0,0057	0,0082
0,36	0,24	0,57	39,09	29,80	50,24	0,0072	0,0060	0,0084
0,37	0,23	0,60	41,16	29,41	52,88	0,0072	0,0056	0,0085
0,36	0,24	0,57	39,14	29,83	50,29	0,0072	0,0060	0,0085
0,36	0,24	0,57	39,15	29,84	50,30	0,0072	0,0060	0,0084
0,36	0,24	0,56	39,77	30,31	49,37	0,0071	0,0059	0,0081
0,36	0,24	0,58	39,16	29,85	50,32	0,0072	0,0060	0,0085
0,36	0,24	0,57	39,13	29,82	50,27	0,0071	0,0059	0,0084

## FINCA LA BELLEZA

Valores correspondientes a los caudales, medidos en l/s.

FLB P1M1	FLB P1M2	FLB P1M3	FLB P2M1	FLB P2M2	FLB P2M3	FLB P3M1	FLB P3M2	FLB P3M3	FLB P4M1	FLB P4M2	FLB P4M3	FLB P5M1	FLB P5M2	FLB P5M3
0,051	0,042	0,060	0,0987	0,0823	0,1161	0,0125	0,0104	0,0143	11,52	8,27	14,74	5,98	3,95	8,27
0,052	0,043	0,061	0,0966	0,0805	0,1136	0,0129	0,0108	0,0147	11,59	8,57	15,00	6,00	4,19	8,24
0,051	0,041	0,058	0,0962	0,0770	0,1106	0,0119	0,0095	0,0133	11,56	8,58	15,03	5,99	4,03	7,96
0,052	0,043	0,061	0,0987	0,0822	0,1161	0,0113	0,0094	0,0151	11,50	8,59	15,11	5,98	4,20	8,27
0,050	0,039	0,059	0,0973	0,0760	0,1144	0,0123	0,0096	0,0131	11,55	8,58	14,50	6,02	4,19	8,29
0,051	0,043	0,061	0,0971	0,0809	0,1142	0,0131	0,0109	0,0141	11,60	8,58	15,13	6,01	4,20	8,30
0,052	0,043	0,061	0,0973	0,0811	0,1145	0,0128	0,0107	0,0154	11,55	8,60	15,06	5,99	4,19	8,25
0,051	0,042	0,058	0,0970	0,0808	0,1102	0,0115	0,0096	0,0137	11,51	8,63	15,02	5,98	4,18	8,07
0,051	0,043	0,061	0,0969	0,0808	0,1141	0,0120	0,0100	0,0152	11,52	8,64	15,07	5,97	4,20	8,28
0,051	0,043	0,060	0,0966	0,0805	0,1137	0,0122	0,0101	0,0145	11,52	8,07	15,03	6,00	4,21	8,25

## ANEXO E: DATOS INGRESADOS EN CROPWAT

CROPWAT - Sesión: untitled - [ETo Penman-Monteith Mensual - C:\ProgramData\CROPWAT\data\climate\pfo.PEM]

Archivo Edición Cálculos Gráficos Configuración Ventana Lenguaje Ayuda

Nuevo Abir Guardar Cerrar Imprimir Gráfico Opciones

Estimación F6

País Ecuador Estación i1

Altitud 10 m. Latitud 0.66 °S Longitud 77.04 °W

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	20.5	34.7	78	96	8.2	21.5	4.71
Febrero	20.5	35.0	80	94	8.1	22.0	4.83
Marzo	20.5	34.7	82	96	7.3	21.0	4.62
Abril	20.5	34.1	82	89	7.2	20.1	4.37
Mayo	20.5	33.7	82	89	6.9	18.6	4.02
Junio	19.8	33.0	82	91	6.3	17.1	3.69
Julio	19.0	33.0	81	94	6.7	17.9	3.80
Agosto	19.4	34.5	78	91	7.6	20.2	4.37
Septiembre	19.5	35.0	76	89	7.7	21.2	4.67
Octubre	20.2	35.4	77	91	7.3	20.7	4.65
Noviembre	20.5	34.7	78	89	7.0	19.8	4.41
Diciembre	20.5	34.3	78	91	7.5	20.2	4.42
Promedio	20.1	34.3	80	92	7.3	20.0	4.38

Clima/ETo

Prec.

Cultivo

Suelo

RAC

Programación

Patrón de Cultivo

Sistema

Archivo ETo pfo.pem Arch. de prec. Archivo de cultivo Archivo de suelo Siembra Archivo pat. de cultivo Arch. de progra.

Estación |1

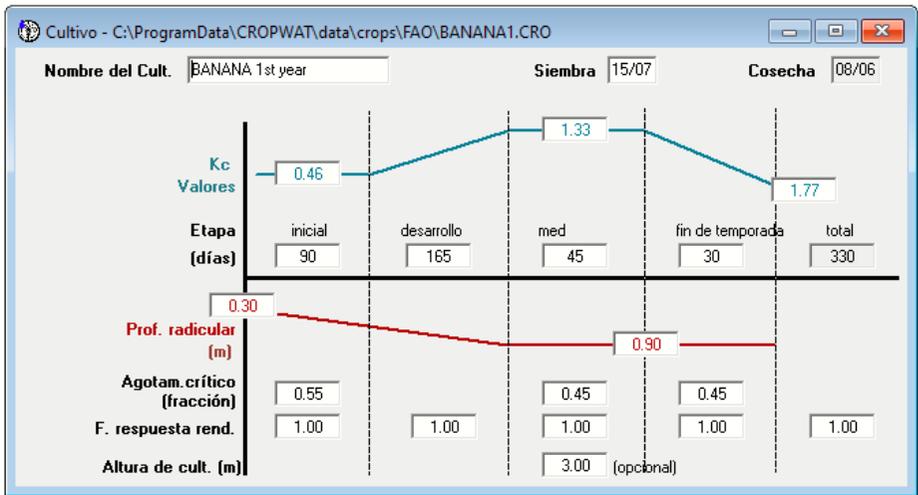
Método Prec. Ef **Método USDA S.C.**

	Precipit.	Prec. efec
	mm	mm
<b>Enero</b>	205.0	137.8
<b>Febrero</b>	246.0	149.2
<b>Marzo</b>	308.0	155.8
<b>Abril</b>	306.0	155.6
<b>Mayo</b>	338.0	158.8
<b>Junio</b>	301.0	155.1
<b>Julio</b>	241.0	148.1
<b>Agosto</b>	170.0	123.8
<b>Septiembre</b>	213.0	140.4
<b>Octubre</b>	251.0	150.1
<b>Noviembre</b>	290.0	154.0
<b>Diciembre</b>	258.0	150.8
<b>Total</b>	<b>3127.0</b>	<b>1779.4</b>

-  Clima/ETo
-  Prec.
-  Cultivo
-  Suelo
-  RAC
-  Programación
-  Patrón de Cultivo
-  Sistema

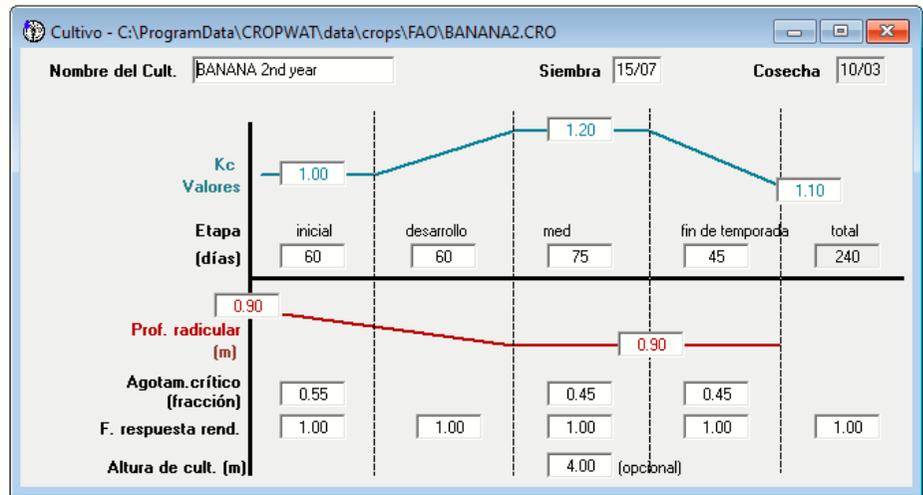
Archivo ETo	Arch. de prec. pfo precp.crm	Archivo de cultivo	Archivo de suelo	Siembra	Archivo pat. de cultivo	Arch. de progra.
-------------	---------------------------------	--------------------	------------------	---------	-------------------------	------------------

-  Clima/ETo
-  Prec.
-  Cultivo
-  Suelo
-  RAC
-  Programación
-  Patrón de Cultivo
-  Sistema



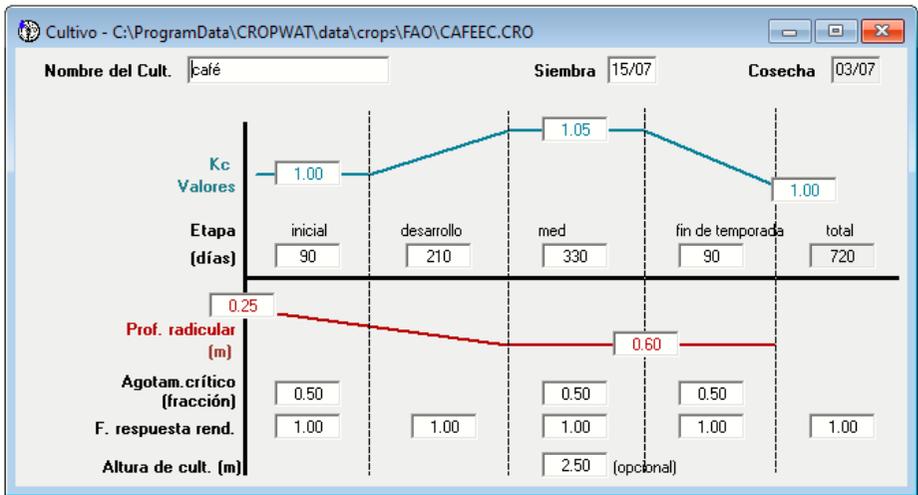
Archivo ETo	Arch. de prec.	Archivo de cultivo banana1.cro	Archivo de suelo	Siembra 15/07	Archivo pat. de cultivo	Arch. de progra.
-------------	----------------	-----------------------------------	------------------	------------------	-------------------------	------------------

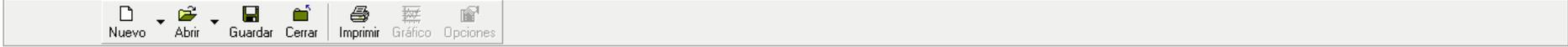
-  Clima/ETo
-  Prec.
-  Cultivo
-  Suelo
-  RAC
-  Programación
-  Patrón de Cultivo
-  Sistema



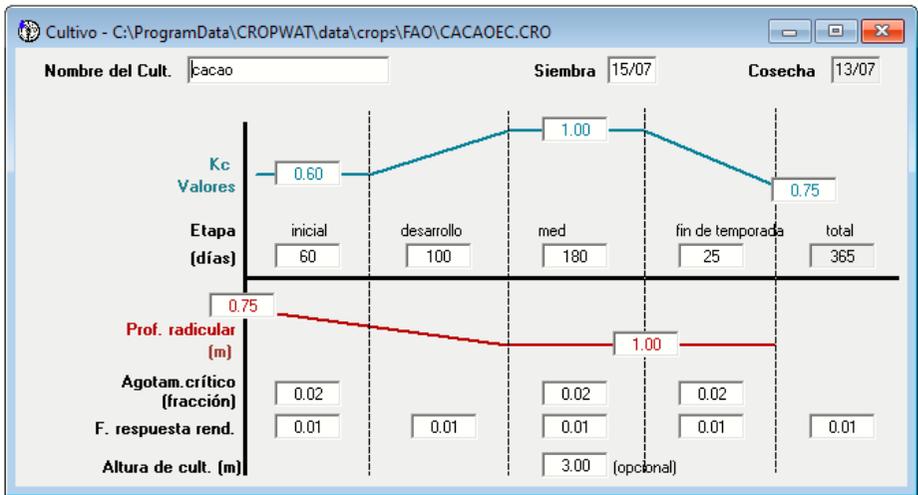
Archivo ETo	Arch. de prec.	Archivo de cultivo	Archivo de suelo	Siembra	Archivo pat. de cultivo	Arch. de progra.
		banana2.cro		15/07		

-  Clima/ETo
-  Prec.
-  Cultivo
-  Suelo
-  RAC
-  Programación
-  Patrón de Cultivo
-  Sistema

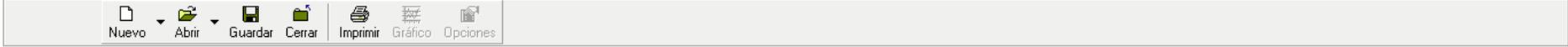




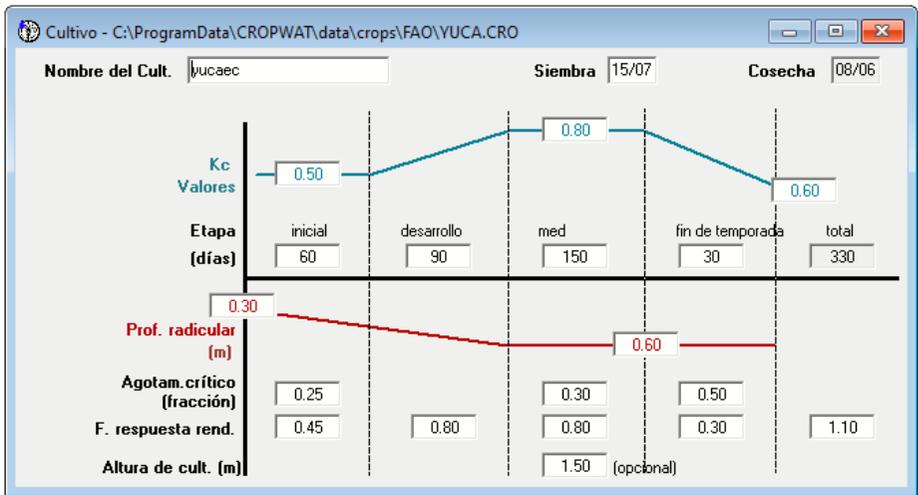
- Clima/ETo
- Prec.
- Cultivo
- Suelo
- RAC
- Programación
- Patrón de Cultivo
- Sistema



Archivo ETo	Arch. de prec.	Archivo de cultivo	Archivo de suelo	Siembra	Archivo pat. de cultivo	Arch. de progra.
		cacaoec.cro		15/07		



- Clima/ETo
- Prec.
- Cultivo
- Suelo
- RAC
- Programación
- Patrón de Cultivo
- Sistema



Archivo ETo	Arch. de prec.	Archivo de cultivo	Archivo de suelo	Siembra	Archivo pat. de cultivo	Arch. de progra.
		yuca.cro		15/07		



- Clima/ETo
- Prec.
- Cultivo
- Suelo
- RAC
- Programación
- Patrón de Cultivo
- Sistema

Suelo - C:\ProgramData\CROPWAT\data\soils\FAO\MEDIUM.SOI

Nombre del suelo

Datos generales de suelo

Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)	<input type="text" value="290.0"/>	mm/metro
Tasa máxima de infiltración de la precipitación	<input type="text" value="40"/>	mm/día
Profundidad radicular máxima	<input type="text" value="900"/>	centímetros
Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT)	<input type="text" value="0"/>	%
Humedad de suelo inicialmente disponible	<input type="text" value="290.0"/>	mm/metro

Archivo ETo	Arch. de prec.	Archivo de cultivo	Archivo de suelo medium soi	Siembra	Archivo pat. de cultivo	Arch. de progra.
-------------	----------------	--------------------	--------------------------------	---------	-------------------------	------------------

## ANEXO F: CROPWAT RIEGO PLÁTANO

### PROGRAM. DE RIEGO DEL CULT.

ETo estación: 11                      Cultivo: BANANA 1st year                      Siembra: 01/01  
 Est. de lluvia: 11                      Suelo: Medium (loam)                      Cosecha: 26/11

Red. Rend.: 0.0 %

#### Crop scheduling options

Momento: Regar a intervalos fijos por etapas  
 (Intervalos en días: Ini 90, Des 165, Med 45, Fin 30)  
 Aplicación: Reponer a 100 % de capacidad de campo  
 Ef. campo 70 %

#### Formato de Tabla: Program. de riego

Fecha	Día	Etap	Precipi mm	Ks fracc.	ETA %	Agot. %	Lám.Net mm	Déficit mm	Pérdida mm	Lám.Br. mm	Caudal l/s/ha
31 Mar	90	Ini	0.0	1.00	100	7	10.4	0.0	0.0	14.9	0.02
12 Sep	255	Des	0.0	1.00	100	14	35.5	0.0	0.0	50.7	0.04
27 Oct	300	Med	44.0	1.00	100	3	6.7	0.0	0.0	9.6	0.02
26 Nov	Fin	Fin	0.0	1.00	100	11					

#### Totales:

Lámina bruta total	75.2 mm	Precipitación total	2821. mm
Lámina neta total	52.6 mm	Precipitación Efectiva	1237. mm
Pérdida total de riego	0.0 mm	Pérdida tot.prec.	1583. mm
Uso real de agua del cultivo	1294.6 mm	Def. de hum. en cosecha	29.0 mm
Uso pot. de agua del cultivo	1294.6 mm	Requer. reales de riego	56.6 mm
Efic. de programación de riego	100.0 %	Efic. de precipitación	43.9 %
Deficiencia de programación de	0.0 %		

#### Reducción de rendimiento:

StageLabel	A	B	C	D	Estación
Reducciones en ETc	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %
Factor de respuesta del rend.	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Red. del rend.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %
Reducc. acum. del rendimiento	0.0	0.0	0.0	0.0	%

## ANEXO G: CROPWAT RIEGO CACAO

### PROGRAM. DE RIEGO DEL CULT.

ETo estación: 11                      Cultivo: cacao                      Siembra: 01/01  
 Est. de lluvia: 11                      Suelo: Medium (loam)                      Cosecha: 31/12

Red. Rend.: 0.0 %

#### Crop scheduling options

Momento: Regar a intervalos fijos por etapas  
 (Intervalos en días: Ini 60, Des 180, Med 100, Fin 25)  
 Aplicación: Reponer a 100 % de capacidad de campo  
 Ef. campo 70 %

#### Formato de Tabla: Program. de riego

Fecha	Día	Eta	Precipi mm	Ks fracc.	ETA %	Agot. %	Lám.Net mm	Déficit mm	Pérdida mm	Lam.Br. mm	Caudal l/s/ha
1 Mar	60	Ini	0.0	1.00	99	4	8.6	0.0	0.0	12.3	0.02
10 Jun	161	Med	0.0	0.98	99	5	14.5	0.0	0.0	20.7	0.02
18 Sep	261	Med	0.0	1.00	99	3	9.1	0.0	0.0	13.0	0.01
7 Dic	341	Fin	45.1	1.00	98	1	4.2	0.0	0.0	6.1	0.01
31 Dic	Fin	Fin	0.0	0.98	0	5					

#### Totales:

Lámina bruta total	52.0 mm	Precipitación total	3126. mm
Lámina neta total	36.4 mm	Precipitación Efectiva	1278. mm
Pérdida total de riego	0.0 mm	Pérdida tot.prec.	1848. mm
Uso real de agua del cultivo	1328.5 mm	Def. de hum. en cosecha	13.8 mm
Uso pot. de agua del cultivo	1347.1 mm	Requer. reales de riego	68.7 mm
Efic. de programación de riego	100.0 %	Efic. de precipitación	40.9 %
Deficiencia de programación de	1.4 %		

#### Reducción de rendimiento:

Stagelabel	A	B	C	D	Estación
Reducciones en ETC	1.1	1.2	1.6	1.0	1.4 %
Factor de respuesta del rend.	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Red. del rend.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %
Reducc. acum. del rendimiento	0.0	0.0	0.0	0.0	%







**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA**  
**NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO**

**Fecha de entrega:** 31/ 01 /2024

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Kevin Josue Meza Mancheno
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería Ambiental
<b>Título a optar:</b> Ingeniero Ambiental
 <b>Firma del Director del Trabajo de Integración Curricular</b>  <b>Firma del Asesor del Trabajo de Integración Curricular</b>