



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS
NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**GESTIÓN DE MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO PARA CONSUMO HUMANO
EN EL BARRIO SAN JOSÉ DE PICHUL, PARROQUIA ELOY ALFARO, CANTÓN
LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO 2018**

Proyecto de investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero en
Medio Ambiente

AUTOR:

FLORES CRUZ MARITZA ELIZABETH

TUTOR:

Ing. MsC. RENÁN LARA LANDÁZURI

Latacunga – Ecuador
Febrero 2019

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo **Flores Cruz Maritza Elizabeth** declaro ser autora del presente proyecto de investigación: **GESTIÓN DE MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO PARA CONSUMO HUMANO EN EL BARRIO SAN JOSÉ DE PICHUL, PARROQUIA ELOY ALFARO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO 2018**, siendo el **Ing. MsC. Renán Lara Landázuri** tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

.....
FLORES CRUZ MARITZA ELIZABETH
Número de C.I. 0504105826

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **Flores Cruz Maritza Elizabeth**, identificada con C.C. N° **0504105826**, de estado civil **Soltera** y con domicilio en la ciudad de Latacunga, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, el Ing. MBA. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez Barrio El Ejido Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.- LA CEDENTE es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería en Medio Ambiente, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado de titulación de Proyecto de Investigación la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad según las características que a continuación se detallan:

Historial académico.- (ABRIL 2014 – AGOSTO 2014 hasta OCTUBRE 2018 – MARZO 2019)

Aprobación HCA.- (18 de abril del 2018).

Tutor.- Ing. MsC. Renán Lara Landázuri

Tema: **GESTIÓN DE MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO PARA CONSUMO HUMANO EN EL BARRIO SAN JOSÉ DE PICHUL, PARROQUIA ELOY ALFARO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO 2018.**

CLÁUSULA SEGUNDA.- LA CESIONARIA es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA.- Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA.- OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- f) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA.- El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA.- El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA.- CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.- Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA.- LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS.- LA CESIONARIA podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA.- El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA.- En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA.- Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 19 días del mes de Febrero del 2019.

Flores Cruz Maritza Elizabeth

EL CEDENTE

Ing. MBA. Cristian Tinajero Jiménez

EL CESIONARIO

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“GESTIÓN DE MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO PARA CONSUMO HUMANO EN EL BARRIO SAN JOSÉ DE PICHUL, PARROQUIA ELOY ALFARO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO 2018”, de la estudiante FLORES CRUZ MARITZA ELIZABETH, de la carrera Ingeniería en Medio Ambiente, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Febrero del 2019

Ing. MsC. Renán Lara Landázuri
TUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, la postulante: **Flores Cruz Maritza Elizabeth** con el título de Proyecto de Investigación: “**GESTIÓN DE MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO PARA CONSUMO HUMANO EN EL BARRIO SAN JOSÉ DE PICHUL, PARROQUIA ELOY ALFARO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO 2018**”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Febrero del 2019

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)
Nombre: Ing. Juan Espinoza
CC: 1713474326

Lector 2
Nombre: Dr. Carlos Mantilla
CC: 0501553291

Lector 3
Nombre: Ing. Cristian Lozano
CC: 0603609314

VII

AGRADECIMIENTO

Agradezco a dios por darme fuerza y valor para terminar esta etapa importante de mi vida, a mis Padres y hermanas por darme la fortaleza para seguir adelante, por cuidarme y tener fe en mí, para ellos unas enormes gracias por ser el eje fundamental en mi vida.

Y finalmente de manera especial a mi tutor el Ing. MsC. Renán Lara Landázuri quien con su dedicación y esfuerzo contribuyó en el desarrollo y culminación del presente proyecto.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mis Padres que han sido mi apoyo en cada paso que he dado y me acompañaron durante mi formación académica. A mis hermanas por fortalecer mi autoestima e impulsaron a seguir adelante.

Maritza Elizabeth Flores Cruz

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: "GESTIÓN DE MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO PARA CONSUMO HUMANO EN EL BARRIO SAN JOSÉ DE PICHUL, PARROQUIA ELOY ALFARO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO 2018"

Autora: Flores Cruz Maritza Elizabeth

RESUMEN

El agua es uno de los recursos fundamentales para poder sobrevivir, principalmente porque se lo encuentra de forma natural. Con el pasar del tiempo las actividades antropogénicas han alterado su estado, que afecta la vida acuática que se puede encontrar y las diferentes maneras de utilización de este recurso. La presente investigación se realizó con el propósito de optimizar la calidad del recurso hídrico de una vertiente natural, que abastece a las personas del Barrio San José de Pichul. Se realizó la caracterización físico – química y microbiológica con un muestreo de agua tomado en el tanque de captación, tanque de regulación y domicilio del sector y con los resultados obtenidos de un laboratorio especializado se determinó los parámetros que se encontraban fuera del límite permisible de la normativa ecuatoriana TULSMA, como la Dureza Total, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO). El manejo del recurso hídrico se basó en un conjunto de procesos eficientes para tratar el recurso hídrico como es el sistema de aireación sumergible tipo chorro que es un complemento en el proceso de coagulación y floculación, además un floculador de flujo horizontal, un sedimentador laminar y un sistema de filtración rápida de arena. La investigación contribuye en garantizar la calidad de vida de las personas del Barrio San José así como la vida de las personas de los tres barrios cercanos quienes se abastecen de este servicio, teniendo en cuenta que el aprovechamiento del agua es usada para consumo humano y fines domésticos.

Palabras claves: Recurso hídrico, caracterización físico – química de agua, caracterización microbiológica de agua, vertiente natural, procesos eficientes.

COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES

TITLE: "MANAGEMENT OF WATER RESOURCES FOR HUMAN CONSUMPTION IN SAN JOSE DE PICHUL NEIGHBORHOOD, ELOY ALFARO PARRISH, LATACUNGA CITY, COTOPAXI PROVINCE, PERIOD 2018".

AUTHOR: Flores Cruz Maritza Elizabeth

ABSTRACT

Water is one of the key resources in order to survive, mainly because it is naturally. Passing time, the anthropogenic activities have altered their condition, which seriously affects the aquatic life that can be found and various ways of utilization of this resource use. This research was carried out with the purpose to optimize the water quality of a natural shed that caters to the people of the San Jose de Pichul. It has been done physical, chemical and microbiological characterization with water samples taken at catchment tank, regulation tank and address of the sector, with the results of a specialized laboratory determined the parameters that were outside allowable limit of Ecuadorian legislation TULSMA, as Total hardness, biochemical oxygen demand (BOD) and chemical oxygen demand (COD). Water resources management were based on a set of efficient processes to treat water as the cooling system submersible type Jet which is a complement in coagulation and flocculation process is also a horizontal flow flocculator, a lamellar sedimentation tank and a system of rapid sand filtration. The research contributes to ensuring the quality of life of San José neighborhood as well as the life of the people of three nearby neighborhoods who is supplying this service, taking into account that use of water for human consumption and domestic purposes.

Key words: Water resources, physical - chemical characterization of water, microbiological characterization of water, natural shed efficient processes.

Tabla de Contenidos

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	III
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	VI
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	VII
AGRADECIMIENTO	VIII
DEDICATORIA.....	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	2
3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	2
4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
5. OBJETIVOS	4
5.1. Objetivo General.....	5
5.2. Objetivos específicos.....	5
6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	5
7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA	6
7.1. El agua	6
7.1.1. Propiedades del agua	7
7.1.1.1. Densidad	7
7.1.1.2. Punto de fusión y ebullición	7
7.1.1.3. Viscosidad	7
7.1.1.4. Calor específico	8
7.1.1.5. Calor de vaporización.....	8
7.1.1.6. Tensión superficial.	8
7.1.2. Clasificación de los Cuerpos de Agua.....	9
7.1.2.1. Ríos.....	9
7.1.2.2. Lagos	9
7.1.2.3. Aguas Subterráneas	9
7.1.2.4. Otros tipos de cuerpos de agua.....	9
7.2. Importancia del Agua	10
7.3. Contaminación del Agua	10
7.3.1. Fuentes de contaminación	11
7.3.1.1. Fuentes puntuales	11
7.3.1.2. Fuentes difusas	11
7.4. Calidad de Agua	11
7.4.1. Agua cruda o en estado natural (sin tratamiento).....	12
7.4.2. Aguas Residuales.....	12
7.4.3. Agua Tratada (Agua Potable).....	13
7.4.4. Parámetros químicos, físicos y microbiológicos.....	13
7.4.4.1. Parámetros físicos.....	13

7.4.4.2.	Parámetros químicos	14
7.4.4.3.	Parámetros microbiológicos	17
7.5.	Dureza del Agua	18
7.5.1.	Clasificaciones de la dureza en aguas.....	19
7.5.1.1.	Clasificación de la dureza según aniones asociados al calcio y magnesio. 19	
7.5.1.2.	Clasificación de aguas según grado de dureza	19
7.5.2.	Eliminación de la Dureza	20
7.5.2.1.	Método de Cal – Soda	21
7.5.2.2.	Métodos de Intercambio Iónico.....	21
7.5.2.3.	Intercambio Iónico Convencional	22
7.5.3.	Impactos del agua dura.....	22
7.5.4.	Impactos de agua dura en la salud humana	22
7.6.	MARCO LEGAL	24
7.6.1.	Constitución del Ecuador	24
7.6.2.	Ley De Aguas	25
7.6.3.	Texto Unificado De Legislación Ambiental. Libro Vi, “De La Calidad Ambiental”, Anexo 1, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua.....	27
7.6.4.	Norma técnica ecuatoriana- NTE INEN 2169:2013 - agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras.	31
8.	METODOLOGÍA E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	34
8.1.	Metodología de la investigación.....	34
8.1.1.	Tipo de investigación	35
8.1.2.	Métodos de estudios	35
8.1.3.	Técnicas aplicadas	36
8.1.4.	Instrumentos utilizados.....	36
8.1.5.	Datos experimentales.....	37
8.2.	Descripción del área de estudio.....	38
8.2.1.	División política	38
8.2.2.	Ubicación geográfica.....	39
8.2.3.	Condiciones ambientales	39
8.2.4.	Sistema de agua entubada.....	39
8.2.5.	Población beneficiaria del sistema de agua entubada.....	40
8.3.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	41
9.	PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA EL BARRIO SAN JOSÉ DE PICHUL	45
9.1.	Introducción.....	45
9.2.	Diagrama de flujo del Modelo de gestión del recurso hídrico	46
9.3.	Modelo de gestión del recurso hídrico	47
9.3.1.	Población futura.....	47
9.3.2.	Caudal de diseño.....	47
9.3.3.	Diseño del sistema de aireación.....	48
9.3.4.	Mezcla rápida	48
9.3.5.	Diseño del vertedero para la mezcla rápida.....	49

9.3.6.	Floculación – mezcla lenta – floculador de flujo horizontal	54
9.3.7.	Sedimentación Laminar de Placas	59
9.3.8.	Filtración.....	63
9.4.	Resultados del modelo de gestión de recurso hídrico (ANEXO 8).....	64
9.4.1.	Caudal de diseño.....	64
9.4.2.	Diseño del sistema de aireación.....	64
9.4.3.	Resultados dosificación del sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$. (ANEXO 9).....	65
9.4.4.	Diseño del vertedero para la mezcla rápida.....	66
9.4.5.	Diseño del floculador de flujo horizontal	68
9.4.6.	Diseño del sedimentador	70
9.4.7.	Diseño del sistema de filtración	71
10.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
11.	BIBLIOGRAFÍA	74
12.	ANEXOS	

Lista de tablas

Tabla 1. Datos de beneficiarios del proyecto	2
Tabla 2. Actividades de los objetivos	6
Tabla 3. Medición del caudal	37
Tabla 4. Puntos de muestreo	42
Tabla 5. Reporte de análisis de agua (ANEXO 7).....	42
Tabla 6. Coeficiente Cd para diversos ángulos de vertederos	50
Tabla 7. Propiedades Físicas del Agua a 1 Atmósfera de Presión	53
Tabla 8. Parámetros de diseño para floculadores hidráulicos de tabiques	58
Tabla 9. Valores Típicos de Coeficientes de Rugosidad de Manning.....	58
Tabla 10. Parámetros de Diseño de Floculadores de Tabiques	58
Tabla 11. Parámetros de Diseño de Sedimentadores Laminares.....	62
Tabla 12. Parámetros de Diseño de las Placas Planas de Asbesto – Cemento.....	62
Tabla 13. Valores de Sc Típicos	62
Tabla 14. Tipos de Flujo según el Número de Reynolds	63
Tabla 15. Caudal de diseño.....	64
Tabla 16. Dosificación del sulfato de aluminio	65
Tabla 17. Resultados del vertedero triangular	66
Tabla 18. Resultados del floculador	69
Tabla 19. Resultados del sedimentador	70
Tabla 20. Resultados del filtro rápido	71

Lista de figuras

Ilustración 1. Área de estudio	38
Ilustración 2. Población beneficiaria	40
Ilustración 3. Resultados de los parámetros fuera del límite máximo permisible	43
Ilustración 4. Diagrama de flujo del Modelo de gestión del recurso hídrico	46
Ilustración 5. Diseño transversal del vertedero triangular	49
Ilustración 6. Floculador de flujo horizontal	54
Ilustración 7. Sedimentador laminar	59
Ilustración 8. Aireador sumergible tipo chorro	65
Ilustración 9. Diseño transversal del vertedero, respecto a la lámina de agua.	66
Ilustración 10. Dimensiones del floculador	68
Ilustración 11. Dimensiones del sedimentador	70

Anexos

- ANEXO 1. ANÁLISIS DE AGUA REALIZADO POR EMAPA 2018.
- ANEXO 2. MEDICIÓN DEL CAUDAL
- ANEXO 3. TANQUE DE CAPTACIÓN
- ANEXO 4. TANQUE DE CLORACIÓN
- ANEXO 5. TANQUE DE REGULACIÓN
- ANEXO 6. PUNTOS DE MUESTREO
- ANEXO 7. REPORTE DEL ANÁLISIS DE AGUA
- ANEXO 8. RESULTADOS DEL MODELO DE GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO
- ANEXO 9. TEST DE JARRAS DOSIFICACIÓN DEL SULFATO DE ALUMINIO
- ANEXO 10. AVAL DE TRADUCCIÓN
- ANEXO 11. HOJA DE VIDA DEL TUTOR
- ANEXO 12. HOJA DE VIDA LA INVESTIGADORA

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto

GESTIÓN DE MANEJO DEL RECURSO HÍDRICO PARA CONSUMO HUMANO EN EL BARRIO SAN JOSÉ DE PICHUL, PARROQUIA ELOY ALFARO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO 2018

Fecha de inicio: Abril 2018

Fecha de finalización: Febrero 2019

Lugar de ejecución:

BARRIO SAN JOSÉ DE PICHUL, PARROQUIA ELOY ALFARO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO 2018

Facultad que auspicia

CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

Carrera que auspicia:

INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE

Proyecto de investigación vinculado:

No aplica

Equipo de Trabajo:

Tutor: Ing. MSc. Renán Lara Landázuri

Investigador: Flores Cruz Maritza Elizabeth

Lector 1. Ing. Juan Espinoza

Lector 2. Ing. Carlos Mantilla

Lector 3. Ing. Cristian Lozano

Área de Conocimiento:

Ambiente - Diseño de Plantas de Tratamiento

Línea de investigación:

Gestión de Calidad y Seguridad Laboral

Sub líneas consideradas por las carreras para la ejecución de proyectos.

Salud, Seguridad y Ambiente.

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto investigativo se basó en evaluar la calidad del recurso hídrico de una vertiente natural captada para consumo humano ubicada en la quebrada Pailaguayco, la cual posee características de contener sales de calcio y magnesio. Según estudios realizados en el año 2018, por la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado (EMAPA) (VER ANEXO 1), el consumo de esta agua puede presentar un sabor desagradable en concentraciones de alcalinidad mayores a 500mg/L. Las incrustaciones compuestas de calcio y magnesio generan pérdidas económicas, debido a que se sedimentan en las tuberías, maquinarias y diversos artefactos que estén en contacto con el agua.

Mediante el análisis de parámetros físicos, químicos y microbiológicos se estableció la calidad del recurso agua. Estos resultados y su comparación con los límites máximos permisibles determinados en el TULSMA, permitieron conocer los procesos para mejorar la situación actual del recurso hídrico.

Con la elaboración de la propuesta de tratamiento se pretende optimizar la calidad de vida de los habitantes del sector. La distribución del recurso hídrico se realiza a las familias de los 400 socios que conforman la junta de agua del Barrio San José de Pichul, quienes utilizan esta agua para abastecer sus necesidades.

Las vertientes que se encuentran en la quebrada Pailaguayco, suministran agua a tres barrios más, quienes consumen este recurso con diferente nivel de dureza. Este trabajo investigativo es una propuesta de tratamiento a nivel de prefectibilidad y que podrá ser difundido a los demás barrios de acuerdo con la metodología a desarrollarse en el presente proyecto.

3. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Tabla 1. Datos de beneficiarios del proyecto

BENEFICIARIOS DIRECTOS				BENEFICIARIOS INDIRECTOS			
Barrio San José de Pichul	Hombres	1200	2000	Barrio Santa Rosa de Pichul	Hombres	600	1000
	Mujeres	800			Mujeres	400	
				Barrio Tanialo	Hombres	400	750
					Mujeres	350	
				Barrio Brazales	Hombres	1200	2250
	Mujeres	1050					

Elaborado por: Elizabeth Flores

4. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Las vertientes o manantiales de diversa magnitud, originados tanto en unidades rocosas como en suelos, son captados y aprovechados como consumo humano y de manera comercial. El tiempo de residencia ejerce un claro efecto sobre la concentración de las sales en el agua, es el caso que a mayor tiempo de residencia se generan aguas con mayores concentraciones de sales disueltas.

La organización mundial de la salud realiza una relación existente entre la dureza del agua de consumo y algunas enfermedades a la vez menciona que existen varios estudios epidemiológicos, ecológicos y analíticos, en que se ha observado que existe una relación inversa significativa entre la dureza y las enfermedades cardiovasculares y también se menciona que aguas muy blandas tienen efectos negativos en el equilibrio mineral del hombre.

En Chile, la presencia de una gran variedad de rocas, en cuya composición participa una amplia gama de elementos mineralógicos, proporciona la base o configuración química para controlar la composición final de las aguas minerales. Según un estudio realizado se estableció que en Chile existen niveles de alcalinidad mayores a 500mg/L, en la Región Metropolitana, en la fuente llamada Vital Apoquindo, con una dureza total de 1156 mg/L y donde destaca el valor de la concentración de calcio con 440 mg/L y también la predominante dureza no carbonatada o permanente. Según este estudio las concentraciones

que superen los 300mg/L se encuentra relacionada con enfermedades cardiovasculares y en menor proporción con la presencia de urolitiasis.

En Ecuador podemos encontrar vertientes naturales de agua dura, que son utilizadas como agua de consumo. El límite máximo permisible en Ecuador para agua dura de consumo es de 500mg/L. En el caso de la población de la parroquia Simiatug, del cantón Guaranda donde según un estudio realizado determinaron una dureza máxima de 182,19mg/L. según este estudio la dureza no sobrepasa los límites, donde concluyeron que afecta en las incrustaciones de la tubería que distribuye el agua, también en los artefactos que utilizan los pobladores con fines domésticos.

El consumo de agua potable en la actualidad tiene gran demanda, las vertientes naturales que emergen de la tierra o entre rocas son una alternativa para abastecer este servicio. Según estudios realizados por EMAPA se evidenció que la vertiente de la quebrada Pailaguayco, captada para consumo en el Barrio San José, posee características de contener concentraciones de alcalinidad de 815,22 mg/L, sobrepasando los límites de dureza del agua establecidos en el TULSMA. Los habitantes de este barrio han consumido esta agua sin previo tratamiento más de 20 años, teniendo problemas en los sistemas de distribución del agua. Al hallarse altas concentraciones de alcalinidad podrían existir afecciones en la salud de los habitantes.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo General

ELABORAR UN MODELO DE GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO PARA CONSUMO HUMANO EN EL BARRIO SAN JOSÉ DE PICHUL, PARROQUIA ELOY ALFARO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI, PERIODO 2018.

5.2. Objetivos específicos

- Determinar la calidad del recurso hídrico de la vertiente natural ubicada en la quebrada Pailaguayco.
- Verificar la calidad del agua a través de la comparación de los resultados obtenidos en el análisis físico- químico y microbiológico con los límites máximos permisibles establecidos en el libro VI, del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA).
- Elaborar una propuesta para mejorar la condición de los parámetros que no cumplen con los límites máximos permisibles.

6. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 2. Actividades de los objetivos

OBJETIVO	ACTIVIDAD	RESULTADOS	MEDIO DE VERIFICACIÓN
Determinar la calidad del recurso hídrico de la vertiente natural ubicada en la quebrada Pailaguayco.	Identificar el área de estudio	Visualizar la situación actual de la quebrada	Fotos Georreferenciación
	Muestreo en la captación, tanque de regulación y domicilio.	6 muestras para el análisis físico químicos y microbiológicos	Muestras codificadas Fotos
	Enviar al laboratorio de las muestras recolectadas	Parámetros a ser comparados	Informes de laboratorio
Verificar la calidad del agua a través de la comparación de los resultados obtenidos en los análisis físico - químico y microbiológico, con los límites máximos permisibles (LMP) establecidos en el libro VI, del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA)	Tabular resultados	Listado de Parámetros a ser mejorados mediante una propuesta de tratamiento.	Libro VI, TULSMA Tabla1, calidad de agua para consumo humano.
	Análisis de los resultados		
	Interpretación de resultados		
Elaborar una propuesta de mejoramiento de la condición de los parámetros que no cumplen con Límites Máximos Permisibles	Plantear procesos unitarios para una propuesta factible	Factibilidad de uso e implementación	Modelo de Gestión del Recurso Hídrico para consumo humano
	Proponer medidas correctivas que contrarresten los parámetros que no cumplen con LMP	Mejoramiento de la calidad de agua	

Elaborado por. Elizabeth Flores

7. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA

7.1. El agua

Sustancia química compuesta de átomos de hidrógeno y de oxígeno y que puede presentarse de los tres estados: líquido, gas (vapor) y sólido (hielo). Se conoce, además, que en la naturaleza sigue un ciclo (ciclo hidrológico). Sin embargo, es poca la gente que se acuerda o tiene presente sus propiedades.

Varias características que posee el agua ya sea que se encuentre contaminada o no, son conocidas como propiedades del agua estas distinguen al agua de los demás líquidos. (RAMIREZ, 2014)

7.1.1. Propiedades del agua

7.1.1.1. Densidad

Según, (RAMIREZ, 2014). “Se mide como masa por unidad de volumen. El agua tiene su máxima densidad a 4°C y disminuye a partir de allí con la temperatura, lo que hace que la densidad del hielo sea inferior a la del agua líquida y, por lo tanto, flote en ella.

La densidad es importante en la ingeniería del agua debido a que interviene en el cálculo de número de Reynolds (régimen de flujo), y en prácticamente todos los procesos de tratamiento del agua”. Pg. 53.

7.1.1.2. Punto de fusión y ebullición

Según, (MARTERS & ELA, 2008). “El agua tiene puntos de ebullición y congelación peculiarmente altos, para un compuesto que posee un peso molecular tan bajo. Si el agua fuera similar a otras sustancias (H_2X), tales como (H_2S), (H_2Se) y (H_2Te), herviría a temperaturas normales terrestres, existiendo, de este modo, mayoritariamente como un gas, en lugar de como un líquido o un sólido, dentro del rango de temperaturas normales en la Tierra”. Pg. 186.

7.1.1.3. Viscosidad

Según, (RAMIREZ, 2014). “Resistencia que presenta el agua a la deformación, y por ello, es análoga a la fricción interna. La viscosidad del agua se expresa como:

- Viscosidad absoluta o dinámica o masa por unidad de longitud y tiempo.
- Viscosidad cinemática o longitud elevada al cuadrado por unidad de tiempo”.

Pg. 53.

7.1.1.4. Calor específico

Según, (RAMIREZ, 2014). “Es a cantidad de calor necesario para elevar 1°C la temperatura de un gramo de agua. En la mayoría de los líquidos el calor específico aumenta con la temperatura, pero en el agua tiene su mínimo a 35°C y este valor es mucho más elevado que en compuestos tales como el alcohol, el benceno, etc., que tienen valores de CE de 0.4 a 0.6. En otras palabras, se necesita una gran cantidad de calor para poder elevar la temperatura del agua, lo que hace muy costosos los procesos de tratamiento de agua como la destilación”.

Pg.54.

7.1.1.5. Calor de vaporización

Según. (MARTERS & ELA, 2008). “El calor necesario para vaporizar agua (2,258KJ/Kg) es uno de los mayores de todos los líquidos. Esta alta temperatura de vaporización significa que el vapor de agua almacena una enorme cantidad de energía, la cual se libera cuando el vapor de agua se condensa”. Pg. 186.

7.1.1.6. Tensión superficial.

Según, (RAMIREZ, 2014).”Entre las moléculas de un líquido se presentan fuerzas naturales de atracción internas denominadas fuerzas de van der Waals. En el agua, las moléculas de la capa superficial están. Por una parte, atraídas entre sí, y por otra parte atraídas por las moléculas de las capas inferiores formándose en la superficie como una película que es difícil de romper.

La energía necesaria para romper la capa por unidad de área es a lo que se conoce como tensión superficial.”. Pg. 54.

7.1.2. Clasificación de los Cuerpos de Agua

Todos los cuerpos de agua están interconectados, desde la atmosfera hasta los océanos a través del ciclo hidrológico.

7.1.2.1.Ríos

Corrientes que se caracterizan porque fluyen unidireccionalmente con velocidades promedio relativamente altas que varían entre 0.1 y 1 m/s. El flujo en los ríos es altamente variable y depende de las condiciones climáticas y de las características del área de drenaje. En general, los ríos son cuerpos de agua los cuales pueden considerarse permanentemente mezclados, y en la mayoría de ellos, la calidad del agua es importante en el sentido del flujo. (RAMIREZ, 2014).

7.1.2.2.Lagos

En estos sistemas acuáticos, la velocidad promedio es relativamente baja: varía entre 0.01 y 0.001 m/s (valores en la superficie). Este hecho hace que el agua permanezca en el sistema desde unos pocos días hasta varios años. Con respecto a la calidad del agua, esta se comporta o está gobernada de acuerdo con el estado trófico y con los periodos de estratificación. (RAMIREZ, 2014)

7.1.2.3.Aguas Subterráneas

En los acuíferos el régimen de flujo es relativamente estable en términos de velocidad y dirección. Las velocidades promedio pueden varían entre 10^{-10} y 10^{-3} m/s y son gobernadas por la porosidad y la permeabilidad del estrato. La dinámica del agua en los acuíferos es bastante complicada y está fuera del alcance. (RAMIREZ, 2014)

7.1.2.4.Otros tipos de cuerpos de agua

Embalses

Se pueden considerar cuerpos de agua intermedios entre lagos ríos y se caracterizan porque su hidrodinámica y calidad de agua dependiente de las reglas de operación.

Ciénagas

Ecosistemas considerados cuerpos de agua intermedios entre lago y un acuífero freático

Estuarios

Sistemas acuáticos intermedios entre río y mar. (RAMIREZ, 2014)

7.2. Importancia del Agua

El recurso agua uno de los principales constituyentes del medio en el vivimos, la vida depende tanto de este recurso para organismos que viven en ambientes acuáticos, como para ecosistemas aeroterrestres.

La composición de los organismos vivos en gran proporción es de agua, 45% en insectos, 70% en mamíferos y en las medusas el 95%. El agua, debido a su composición química y estructura dipolar, forma puentes de hidrógeno que son los responsables de las características tan especiales que tiene y que han hecho posible la vida sobre la Tierra. (SURRIBAS, 2010).

Para millones de personas en el mundo el recurso agua es muy escaso, por eso luchan diariamente para conseguir agua apta para el consumo y para abastecer sus necesidades básicas.

En el periodo pasado existió un registro importante sobre la labor de proporcionar a la población acceso al agua potable libre de impurezas y servicios de saneamiento básicos. Pero hace falta ampliar esos servicios esenciales a las personas que todavía no cuentan con ellos y que, en su inmensa mayoría, son pobres. (UNIDAS, 2005- 2015).

7.3. Contaminación del Agua

Alterar la calidad del agua, significa perjudicar la vida del ser humano y de los demás seres vivos que dependen de ella.(AGUA, 2010).

La modificación del agua en gran proporción es provocada de manera antropogénica, haciéndola impropia o peligrosa para el consumo humano, la industria, agricultura, pesca y actividades recreativas, así como para animales domésticos y vida natural.

7.3.1. Fuentes de contaminación

7.3.1.1.Fuentes puntuales

Fuentes puntuales de contaminación antrópica son aquellos puntos en que una masa de contaminantes se descarga en cuerpos de agua en lugares bien precisos, a través de tuberías o canales. Estas fuentes son fáciles de identificar, monitorear y regular. (Korbut)

7.3.1.2.Fuentes difusas

Se refieren a fuentes de contaminación provenientes de extensas superficies de tierra que descargan contaminantes sobre una gran área de aguas superficiales y por filtración a aguas subterráneas. (Korbut)

7.4. Calidad de Agua

La calidad de agua es una variable descriptora fundamental del medio hídrico, tanto desde el punto de vista de su caracterización ambiental, como desde la perspectiva de la planificación y gestión hidrológica, ya que delimita la aptitud del agua para mantener los ecosistemas y atender las diferentes demandas.

La evolución sobre calidad de agua ha cambiado con el tiempo, así como la demanda en diferentes usos, pero a la vez se mejora los métodos para analizar e interpretar sus características.

Una lista de concentraciones, especificaciones y aspectos físicos de sustancias orgánicas e inorgánicas y la composición y el estado de la biota acuática presente en el cuerpo de agua. Es denominada calidad de un ambiente acuático.

La contaminación de este ambiente principalmente es por la introducción directa o indirecta de sustancias o energía lo cual resulta en problemas como: daños en los organismos vivos, efectos sobre la salud de los humanos, impedimento de actividades acuáticas e interferencia sobre actividades económicas como el riego, el abastecimiento de agua para la industria. La descripción de calidad se puede realizar de dos maneras diferentes como es midiendo variables físicas o biológicas o a la vez utilizando un índice de calidad de agua. (RAMIREZ, 2014)

7.4.1. Agua cruda o en estado natural (sin tratamiento)

Agua que se encuentra en el ambiente, ya sea la lluvia, superficial, subterránea, océanos, etc. Y que no reciben ningún tratamiento ni se modifican en su estado natural.

La calidad de agua que se encuentra en forma natural depende de la posición geográfica, origen y hábitos de los pobladores. (RAMIREZ, 2014)

7.4.2. Aguas Residuales

Agua utilizada en cualquier uso benéfico. El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental para el diseño, operación y control de los sistemas de aguas residuales. Los

generadores de aguas residuales se pueden agrupar en aguas residuales domésticas, industriales y comerciales. (RAMIREZ, 2014)

7.4.3. Agua Tratada (Agua Potable)

Aquella a la cual se le han variado o cambiado sus características físicas, químicas y biológicas con el propósito de utilizarlas en algún uso benéfico. La calidad de agua tratada depende del uso que se le vaya a asignar. Las normas de calidad del agua para el abastecimiento público de agua potable dependen de la regulación de cada país. (RAMIREZ, 2014).

7.4.4. Parámetros químicos, físicos y microbiológicos.

7.4.4.1. Parámetros físicos

Sustancias que tienen incidencia directa sobre las condiciones estéticas de agua.

Turbiedad

Según, (RAMIREZ, 2014). "Capacidad que tiene un material suspendido en el agua para obstaculizar el paso de la luz. Se produce por erosión natural de las cuencas la cual aporta sedimentos a los cauces de los ríos. Y la contaminación causada por la industria o por desechos domésticos". Pg. 55

Color

Según, (RAMIREZ, 2014). "Tiene relación con la turbiedad, pero el color es una característica independiente que se genera por sustancias disueltas o por los coloides. El origen más aceptado de su producción es por la descomposición natural de la materia vegetal de las plantas y por la disolución de ciertos minerales presentes en el subsuelo". Pg.56.

Olor y sabor

Según, (RAMIREZ, 2014). "Están asociados con la presencia de sustancias indeseables causando el rechazo del consumidor. Estos olores y sabores se deben a la presencia de

plancton, compuestos orgánicos generados por la actividad de las bacterias y algas, a los desechos industriales o a la descomposición de la materia orgánica, especialmente H_2S .” pg.57.

Conductividad

Según, (RAMIREZ, 2014). “Indicativo de las sales disueltas en el agua y mide la cantidad de iones especialmente de Ca, Mg, Na,P, bicarbonatos, cloruros y sulfatos.

Es una medida indirecta de solidos disueltos y su contienen altas concentraciones de conductividad son corrosivas”. Pg. 60.

Temperatura

Según, (RAMIREZ, 2014).”Parámetro más importante del agua, además de afectar la viscosidad y la velocidad de las reacciones químicas, interviene en el diseño de la mayoría de los procesos de tratamiento de agua (coagulación, sedimentación, etc.)”. pg. 58.

Sólidos

Según, (RAMIREZ, 2014). “El primer tipo de solidos importantes son los sólidos totales que es el material que queda después de evaporar el agua a $105^{\circ}C$, todo presente en la muestra excepto agua”. Pg. 58-59

- **Sólidos sedimentables:** material que se sedimenta en el fondo de un recipiente de forma cónica en el transcurso de 60 min, se expresa en ml/L.
- **Sólidos disueltos:** Se calculan pasando la muestra por un papel filtro y luego determinando los sólidos totales del filtrado.
- **Sólidos suspendidos:** se determina restando los sólidos disueltos de los sólidos totales. Los SS importantes en los estudios de calidad porque se utilizan para el cobro de la tasa retribuida y el diseño de planta de tratamientos residuales.

7.4.4.2.Parámetros químicos

Por razones didácticas los parámetros químicos del agua se dividen en dos clases.

- i) Indicadores

ii) Sustancias químicas (RAMIREZ, 2014)

Indicadores

Parámetros cuyas concentraciones en el agua se deben a la presencia e interacción de varias sustancias. (RAMIREZ, 2014)

pH

Término utilizado para expresar la intensidad de las condiciones acidas o básicas del agua.

Está definido como:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+].$$

El pH siempre se encuentra en una escala de 0 a 14. (RAMIREZ, 2014)

Acidez.

Se considera que todas las aguas que tienen un pH inferior a 8,5 unidades tienen acidez. En aguas naturales es ocasionada por la presencia de CO₂ o la presencia de un ácido fuerte. (RAMIREZ, 2014)

Alcalinidad

Capacidad que tiene el agua para neutralizar ácidos. Se considera como la presencia de sustancias básicas en el agua, principalmente, sales de ácidos débiles o bases fuertes.

La alcalinidad se reconoce por la presencia de los iones [OH⁻], [COH₃²⁻] y [HCO₃⁻].

La alcalinidad es importante en la calidad de agua por diferentes razones

- En altas concentraciones le comunica un sabor desagradable al agua.

- En presencia de iones de Ca y Mg (dureza) forma precipitados que ocasionan problemas de taponamiento y obstaculizan el flujo en tuberías.
- Tal vez la más importante controla el proceso de coagulación en el tratamiento del agua potable, y la digestión anaeróbica en el caso de tratamiento de agua residual. (RAMIREZ, 2014)

Dureza

Se denomina dureza a la propiedad que tienen ciertas aguas de cortar el jabón, es decir, requieren grandes cantidades de jabón para producir espuma. Las aguas duras también tienen la particularidad de que a elevadas temperaturas forman incrustaciones en los equipos mecánicos y las tuberías.

Sustancias orgánicas

Grasas

Según, (RAMIREZ, 2014).”Variedad de sustancias orgánicas que se extraen de soluciones acuosas o en suspensión. Se las extrae utilizando hexano. Son generadas o llegan al agua por actividades antrópicas y su presencia y medición están relacionadas principalmente con actividades que tienen que ver con el manejo de aguas residuales”. Pg. 69.

Detergentes

Según, (RAMIREZ, 2014).” La variedad de materiales es utilizada para remover la mugre de la ropa, platos, etc. Estas sustancias producen espuma cuando el agua es agitada. Estas sustancias orgánicas tienen la propiedad de reducir la tensión superficial del agua”. Pg. 70

Hierro y manganeso

Según, (RAMIREZ, 2014).”Siempre se los encuentra juntos, son importantes en las aguas subterráneas en las cuales se encuentran en altas concentraciones, la presencia se debe al

poder disolvente que tiene el CO₂, sobre los estratos del suelo reduciendo los compuestos férricos a hierro soluble”. Pg. 70

Nitrógeno

Según, (RAMIREZ, 2014).”N absolutamente básico para la síntesis de proteínas, según sus presencia e posible valor la posibilidad de tratamiento de las aguas residuales domesticas e industriales mediante los proceso biológicos”. Pg. 71

Fósforo

Según, (RAMIREZ, 2014). “Esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos”. Pg. 73.

Clorofila

Según, (RAMIREZ, 2014).”El fitoplancton está formado por algas, que están constituidas de una serie de pigmentos. Con la cuantificación de clorofila se hace un estimativo del fitoplancton que existe en un área de terminada, por lo cual se han estudiado las clorofilas el reconocimiento y extracción de fitoplancton”. Pg. 74.

7.4.4.3. Parámetros microbiológicos

Agentes que pueden ser naturales, pero también provienen de contaminación por vertidos cloacales y/o industriales, como por arrastre de los existentes en el suelo por acción de la lluvia.

Algas

Las algas contienen fundamentalmente clorofila necesaria para las actividades fotosintéticas y por lo tanto necesitan la luz solar para vivir y reproducirse. La mayor concentración se da en los lagos, lagunas, embalses, remansos de agua y con menor abundancia en las corrientes de agua superficiales. (Orellana, 2005)

Bacterias

Las bacterias que se pueden encontrar en el agua son de géneros muy numerosos que son patógenas para el hombre, como los coliformes y los estreptococos que se utilizan como índice de contaminación fecal. (Orellana, 2005)

Hongos, mohos y levaduras

Grupo de bacterias que no contienen clorofila y en general son incoloras. Todos estos organismos son heterótrofos y en consecuencia dependen de la materia orgánica para su nutrición. (Orellana, 2005).

7.5. Dureza del Agua

La dureza del agua se debe, principalmente, a la presencia de calcio y magnesio, también contribuyen a ella el estroncio, hierro, manganeso, bario y otros iones polivalentes, los cuales se combinan con aniones como el sulfato, cloruro, nitrato y bicarbonato.

Se dice que un agua es dura cuando su contenido de iones Ca^{2+} y Mg^{2+} disueltos excede lo tolerado para el uso al que se destina dicha agua. Se comprende pues que no hay un único

valor del máximo de Ca^{2+} y Mg^{2+} tolerable para los diferentes usos a los que se destina el agua. Por lo general la dureza se expresa en mg/L de CaCO_3 .

Las fuentes naturales principales de la dureza del agua provienen del suelo y son las rocas sedimentarias, las percolaciones y la esorrentía. El agua dura normalmente se origina en áreas donde la capa superior del suelo es gruesa y existen formaciones calcáreas. Por lo general, el agua subterránea es más dura que el agua de superficie.

7.5.1. Clasificaciones de la dureza en aguas

7.5.1.1. Clasificación de la dureza según aniones asociados al calcio y magnesio

La dureza puede ser temporal o permanente según los aniones asociados a los cationes causantes de la dureza.

Dureza Temporal

Agua que contiene carbonatos y bicarbonatos de calcio y magnesio. Pero a la vez puede ser eliminada por ebullición y posteriormente por filtración de los precipitados formados. Conocida como “Dureza de Carbonatos”.

Dureza Permanente

Dureza que queda en el agua después de la ebullición, incluye sulfatos, cloruros y nitratos de calcio y magnesio. Conocida como “Dureza de No Carbonatos”. (GUTIÉRREZ, 2006)

7.5.1.2. Clasificación de aguas según grado de dureza

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS)

Tabla 8.5.1.2 1. Clasificación de aguas según el grado de dureza (OMS)

CaCO_3 (mg/L)	Tipo de agua
0-60	Blanda
61-120	Moderadamente dura
121-180	Dura
>180	Muy dura

Fuente. OMS

En muchos países se clasifica la dureza del agua en mg/L CaCO₃ según los siguientes valores:

Tabla 8.5.1.2 2. Clasificación de aguas según el grado de dureza (Varios países)

Dureza	Tipo de agua
0-75	Agua blanda
75-150	Agua- semi dura
150-300	Agua dura
>300	Agua muy dura

Fuente. Dr. Roberto Rodríguez

(GUTIÉRREZ, 2006).

Según el libro de Química Industrial Principios Técnicos.

Tabla 8.5.1.2 3. Clasificación de aguas según el grado de dureza (Química Industrial Principios Técnicos)

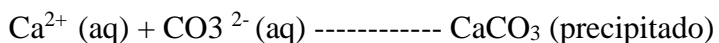
Tipos de agua	mg/l	°fH	°dH	°eH
Agua blanda	≤17	≤1.7	≤0.95	≤1.19
Agua levemente dura	≤60	≤6.0	≤3.35	≤4.20
Agua moderadamente dura	≤120	≤12.0	≤6.70	≤8.39
Agua dura	≤180	≤18.0	≤10.05	≤12.59
Agua muy dura	>180	>18.0	>10.05	>12.59

Fuente. Química industrial principios técnicos.

7.5.2. Eliminación de la Dureza

Un método eficiente para diluir carbonatos es con aplicación de ácido débil (acético, cítrico) en el almacenamiento de agua. La reducción de dureza se llama ablandamiento de agua.

El ablandamiento más usado es la de “adición de carbonato sódico”, que conlleva la eliminación de Ca²⁺ mediante la reacción:

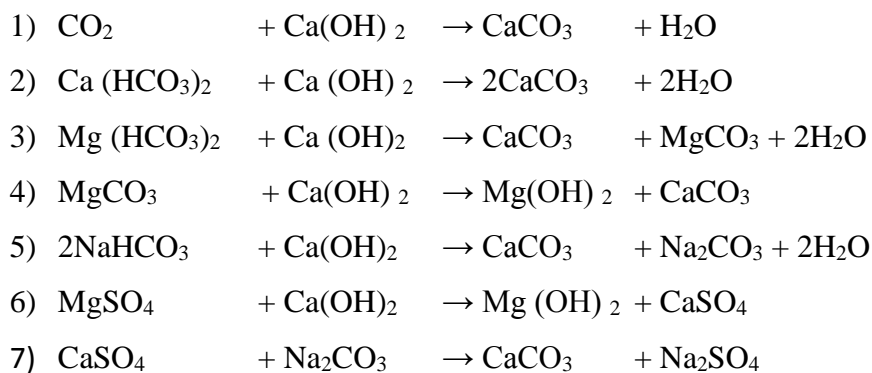


Para eliminar dureza del agua se puede realizar por descalcificación mediante resinas de intercambio iónico. Lo más habitual es utilizar resinas de intercambio catiónico que intercambian iones sodio por los iones calcio y magnesio presentes en el agua.

La cantidad de dureza en exceso de la carbonatada, conocida como dureza de no carbonatos que se distingue como permanente, es decir, no puede eliminarse por agitación térmica, sino que son necesarios procesos químicos para eliminarla del agua. (RODRÍGUEZ & RODRÍGUEZ, 2010)

7.5.2.1.Método de Cal – Soda

El proceso de ablandamiento con cal - soda ($\text{Ca}(\text{OH})_2 - \text{Na}_2\text{CO}_3$) precipita la dureza del agua. En este proceso se llevan a cabo las siguientes reacciones, las cuales se deben de tener en consideración para estimar las cantidades de cal y soda necesarias para el ablandamiento. (RODRÍGUEZ & RODRÍGUEZ, 2010)



7.5.2.2.Métodos de Intercambio Iónico

Método que se aplica desde hace años y es usado para suavizar el agua doméstica. El sistema funciona mediante el intercambio de iones de una solución con los iones de carga similar de una resina.

Se utilizan tres sistemas comunes de intercambio iónico: el intercambio iónico convencional, la precipitación in situ y el circuito electrolítico de intercambio iónico (combinación de los dos primeros métodos). (RODRÍGUEZ & RODRÍGUEZ, 2010)

7.5.2.3. Intercambio Iónico Convencional

La unidad de intercambio iónico colecta la plata del blanqueador-fijador. Después se relava con tiosulfato de amonio $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3]$ y, luego se desplata electrolíticamente. El efluente que sale de la unidad de desplataado se usa entonces para la siguiente etapa de relavado. (RODRÍGUEZ & RODRÍGUEZ, 2010).

7.5.3. Impactos del agua dura

El uso de agua dura en los quehaceres domésticos es uno de los efectos más frecuentes y se manifiesta en la acción de los jabones. Cuando se utiliza jabón, el cual es una sal de sodio de un ácido graso superior (generalmente de 16 a 18 átomos de carbono por molécula), en aguas duras, se forman precipitados debido a la presencia de calcio, magnesio y hierro. Los iones de calcio de esta agua se unen con los iones disueltos del jabón para formar sales insolubles. Este proceso gasta el jabón impidiendo la formación de espuma y produce un sólido grumoso indeseable, el cual no presenta ninguna utilidad.

Cuando el agua dura es usada en calentadores de agua se presenta una acción indeseable similar, el dióxido de carbono se desprende a altas temperaturas, y produce un depósito de sales de calcio o magnesio en el interior del calentador. Esto puede obstruir los tubos y también reducir la conductividad térmica.

7.5.4. Impactos de agua dura en la salud humana

La composición del agua dura principalmente es de calcio y magnesio que a la vez son esenciales para el organismo.

Un estudio realizado en el Perú, cuyo objetivo fue determinar si la dureza del agua afectaba la salud de los pobladores de las irrigaciones de la parte baja del río Chili arrojó un resultado que es interesante tenerlo en cuenta. Durante los meses de Marzo y Abril de 2008, un número representativo de residentes de las irrigaciones de La Joya-El Ramal, La Joya, Valle de Vítor, San Camilo, San Isidro y La Cano fueron encuestados acerca de la ocurrencia de

cálculos renales (litiasis); como la estadística de morbilidad urogenital por sub-categoría por grupo etéreo y sexo, proporcionado por la Dirección de Salud de Arequipa Sur. Al mismo tiempo, muestras de agua de cada irrigación, destinado al consumo, fueron tomados y analizados para determinar su dureza total de las mismas. De un total de 260 personas encuestadas de las cinco irrigaciones, 49 de ellos (18,85 %) dijeron haber padecido de litiasis.

La dureza del agua (≥ 300 mg/l de CaCO_3) estuvo asociado a una alta prevalencia de litiasis. La morbilidad más alta por litiasis de cálculo al riñón y de uréter es de 28 % que corresponde a las irrigaciones de San Isidro-San Camilo, debido a que el agua de consumo humano no cuentan con ningún tipo de tratamiento potable; y en el valle de Vítor es elevado la incidencia por la enfermedad, debido a que utilizan aguas de retorno al igual que en la Irrigación La Cano.

El consumo prolongado de aguas que presentaban concentraciones > 120 mg/l de CaCO_3 presentan un factor de riesgo para el padecimiento de esta enfermedad, según estudio de Mora (2002). Lo que concordó con el estudio sobre el río Chili, que concentraciones ≥ 300 mg/l de CaCO_3 estuvo asociado a una alta prevalencia de litiasis. De 90 personas encuestadas en el Valle de Vítor y en La Cano, 23 dijeron haber sufrido la enfermedad; y de un total de 170 personas encuestados en La Joya-El Ramal, La Joya, San Camilo y San Isidro, sólo 26 sufrieron la enfermedad.

La morbilidad por litiasis de cálculo al riñón y de uréter, es de 9%, 28% y 13% que corresponden a las irrigaciones de La Joya-La Cano, San Isidro-San Camilo y El Valle de Vítor respectivamente, siendo más alto en el segundo grupo, debido que no cuentan con ningún tipo de tratamiento de agua de consumo humano.

Al realizar un tratamiento a nivel del laboratorio las aguas de la irrigación La Cano, se logró reducir la dureza total de 984,55 mg/l de CaCO_3 a 238,36 mg/l de CaCO_3 , así como la alcalinidad a 119,16 mg/l de CaCO_3 , calcio a 96,96 mg/l de CaCO_3 y magnesio a 141,40 mg/l de CaCO_3 .

Se concluyó que el consumo prolongado de aguas que presentan concentraciones mayores a 120 mg/l de CaCO_3 , presenta un factor de riesgo en la formación de cálculos en las vías urinarias en los pobladores de la parte baja del río Chili - Arequipa.

Entre las recomendaciones que surgieron en este estudio considero importante destacar algunas de ellas ya que pueden servir como guía en situaciones similares:

Hacer un pre-tratamiento de las aguas que son clasificadas como aguas muy duras, aplicando la técnica de ablandamiento con Cal - Soda, para reducir la dureza temporal y la dureza permanente respectivamente, después de este recién se recomienda el uso intercambiadores iónicos u otra técnica similar.

En caso de personas con antecedentes de cálculos en las vías urinarias, se sugiere consumir más de 8 vasos diarios de agua con niveles inferiores a 120 mg/l de CaCO_3 . (RODRÍGUEZ & RODRÍGUEZ, 2010).

7.6. MARCO LEGAL

7.6.1. Constitución del Ecuador

Art. 12.- “El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida”.

Art. 32.- “La salud es un derecho que garantiza el Estado, cuya realización se vincula al ejercicio de otros derechos, entre ellos el derecho al agua, la alimentación, la educación, la cultura física, el trabajo, la seguridad social, los ambientes sanos y otros que sustentan el buen vivir”.

Art. 264.- “Los Gobiernos Municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determinen la ley: numeral 4.- “Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley”.

Art. 276.- “El régimen de desarrollo tendrá los siguientes objetivos: numeral 4.- Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural”.

Art. 411.- “El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua”.

7.6.2. Ley De Aguas

De Ley de Agua de 1972, codificada en el 2004, se ha tomado los siguientes artículos referentes al uso y aprovechamiento del líquido vital:

Art. 1.- “Las disposiciones de la presente Ley regulan el aprovechamiento de las aguas marítimas, superficiales, subterráneas y atmosféricas del territorio nacional, en todos sus estados físicos y formas”.

Art. 13.- “Para el aprovechamiento de los recursos hidrológicos, corresponde a la Secretaria Nacional Del Agua”:

- a) Planificar su mejor utilización y desarrollo;
- b) Realizar evaluaciones e inventarios;
- c) Delimitar las zonas de protección;
- d) Declarar estados de emergencia y arbitrar medidas necesarias para proteger las aguas;
- e) Propender a la protección y desarrollo de las cuencas hidrográficas.

Art. 22.- “Prohibase toda contaminación de las aguas que afecte a la salud humana o al desarrollo de la flora o de la fauna”.

Art. 36.- “Preferencias para las concesiones.- Las concesiones del derecho de aprovechamiento de aguas se efectuarán de acuerdo al siguiente orden de preferencia:

- a) Para el abastecimiento de poblaciones, para necesidades domésticas y abrevadero de animales;
- b) Para agricultura y ganadería;
- c) Para usos energéticos, industriales y mineros; y,
- d) Para otros usos”.

Art. 39.- “Las concesiones de agua para consumo humano, usos domésticos y saneamientos de poblaciones, se otorgarán a los Municipios, Consejos Provinciales, Organismos de Derecho Público o Privado y particulares, de acuerdo a las disposiciones de esta Ley”.

Art. 55.- “Las personas obligadas a la utilización de aguas pagarán la tarifa respectiva, la utilicen o no, debiendo tomarse en cuenta para establecer dicha tarifa, la amortización del capital invertido en el canal y obras complementarias, los gastos de operación y mantenimiento y el tiempo necesario de utilización, en las proporciones y condiciones que serán regulados en el reglamento, que, elaborado por el Consejo Secretaria Nacional Del Agua, deberá ser expedido por el Ministerio de Agricultura y Ganadería”.

7.6.3. Texto Unificado De Legislación Ambiental. Libro Vi, “De La Calidad Ambiental”, Anexo 1, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua

“La presente normativa técnica ambiental es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional”.

4.1.20 Criterios de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico

4.1.1.1 Se entiende por agua para consumo humano y uso doméstico aquella que se emplea en actividades como:

- a) Bebida y preparación de alimentos para consumo,
- b) Satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios,
- c) Fabricación o procesamiento de alimentos en general.

4.1.1.2 Esta Norma se aplica durante la captación de la misma y se refiere a las aguas para consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieran de tratamiento convencional, deberán cumplir con los siguientes criterios (ver tabla 1):

TABLA 1. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permisible
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Aluminio	Al	mg/l	0,2
Amoniaco	N-Amoniacal	mg/l	1,0
Amonio	NH ₄	mg/l	0,05

Arsénico (total)	As	mg/l	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0
Cadmio Cianuro	Cd	mg/l	0,01
(total)	CN ⁻	mg/l	0,1
Cloruro	Cl	mg/l	250
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Coliformes Totales	nmp/100 ml		3 000
Coliformes Fecales	nmp/100 ml		600
Color	color real	unidades de color	100
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,002
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,05
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	2,0
Dureza	CaCO ₃	mg/l	500
Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Bifenilo policlorados/PCBs	Concentración de PCBs totales	mg/l	0,0005
Fluoruro (total)	F	mg/l	1,5
Hierro (total)	Fe	mg/l	1,0
Manganeso (total)	Mn	mg/l	0,1
Materia flotante			Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Nitrato	N-Nitrato	mg/l	10,0
Nitrito	N-Nitrito	mg/l	1,0
Olor y sabor			Es permitido olor y sabor removible por tratamiento convencional
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l
Plata (total)	Ag	mg/l	0,05
Plomo (total)	Pb	mg/l	0,05
Potencial de hidrógeno	pH		6-9

Selenio (total)	Se	mg/l	0,01
Sodio	Na	mg/l	200
Sólidos disueltos totales Sulfatos		mg/l	1 000
Temperatura	SO_4^-	mg/l	400
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	Condición Natural + o - 3 grados 0,5
Turbiedad		UTN	100
Zinc	Zn	mg/l	5,0
Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permisible
*Productos para la desinfección		mg/l	0,1
Hidrocarburos Aromáticos			
Benceno	C_6H_6	mg/l	10,0
Benzo(a) pireno		mg/l	0,01
Etilbenceno		mg/l	700
Estireno		mg/l	100
Tolueno		mg/l	1 000
Parámetro	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permisible
Xilenos (totales)		mg/l	10 000
Pesticidas y herbicidas			
Carbamatos totales	Concentración de carbamatos totales	mg/l	0,1
Organoclorados totales	Concentración De organoclorado s totales	mg/l	0,01
Organofosforados totales	Concentración De organofosfora	mg/l	0,1

Dibromocloropropano (DBCP)	dos totales Concentración total de DBCP	mg/l	0,2
Dibromoetileno (DBE)	Concentración total de DBE	mg/l	0,05
Dicloropropano (1,2)	Concentración	mg/l	5
Parámetro	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permissible
	total de dicloropropano		
Diquat		mg/l	70
Glifosato		mg/l	200
Toxafeno		mg/l	5
Compuestos Halogenados			
Tetracloruro de carbono		mg/l	3
Dicloroetano (1,2-)		mg/l	10
Dicloroetileno (1,1-)		mg/l	0,3
Dicloroetileno (1,2-cis)		mg/l	70
Dicloroetileno (1,2-trans)		mg/l	100
Diclorometano		mg/l	50
Tetracloroetileno		mg/l	10
Tricloroetano (1,1,1-)		mg/l	200
Tricloroetileno		mg/l	30
Clorobenceno		mg/l	100
Diclorobenceno (1,2-)		mg/l	200
Diclorobenceno (1,4-)		mg/l	5
Hexaclorobenceno		mg/l	0,01
Bromoximil		mg/l	5
Diclorometano		mg/l	50
Tribrometano		mg/l	2

Fuente. Texto Unificado De Legislación Ambiental. Libro Vi, “De La Calidad Ambiental”, Anexo 1, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua

7.6.4. Norma técnica ecuatoriana- NTE INEN 2169:2013 - agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras.

Esta norma establece las técnicas y precauciones generales que se deben tomar para conservar y transportar todo tipo de muestras de agua incluyendo aquellas para análisis biológicos pero no análisis microbiológicos.

3.14 Manejo y conservación

3.14.1 Tipos de recipientes

3.14.1.1 Es muy importante escoger y preparar los recipientes.

3.14.1.2 El recipiente que va a contener la muestra, y la tapa, no deben:

- a) ser causa de contaminación por lixiviación de componentes inorgánicos de recipientes de vidrio (por ejemplo: los de borosilicato o los de sodio-cal, pueden incrementar el contenido de silicio y sodio), metales y compuestos orgánicos de los plásticos. Algunas tapas coloreadas pueden contener niveles significativos de metales pesados;
- b) absorber o adsorber los constituyentes a ser determinados (por ejemplo: los hidrocarburos pueden ser absorbidos en un recipiente de polietileno; trazas de los metales pueden ser adsorbidas sobre la superficie de los recipientes de vidrio, lo cual se previene acidificando las muestras);
- c) reaccionar con ciertos constituyentes de la muestra (por ejemplo: los fluoruros reaccionan con el vidrio).
- d) tener una superficie a la cual no se puedan aplicar métodos de limpieza y tratamiento con la finalidad de reducir la contaminación de la muestra por trazas de constituyentes como metales pesados o radionucleidos.

3.14.2 Manejo y conservación de muestras para análisis biológico

3.14.2.1 El manejo de muestras para examinación biológica es diferente al usado con muestras para análisis químico.

3.14.2.4 Se deben considerar los siguientes criterios para la conservación de las muestras para análisis biológicos:

- a) El efecto de los conservantes en cuanto a la pérdida de microorganismos debe ser conocido de antemano;
- b) Los conservantes deben prevenir la degradación biológica de materia orgánica, al menos durante el periodo de almacenamiento;
- c) Los conservantes debe permitir que los grupos taxonómicos puedan ser estudiados durante el periodo de almacenamiento de las muestras.

3.14.3 Preparación de recipientes

3.14.3.1 Recipientes de muestras para análisis químicos

a) Para el análisis de trazas de constituyentes químicos, de agua superficial o residual, es necesario lavar los recipientes nuevos con el fin de minimizar la contaminación de la muestra; el tipo de limpiador usado y el material del recipiente varían de acuerdo a los constituyentes a ser analizados, por ejemplo detergentes que contengan fosfatos causan contaminación residual cuando se va a analizar nutrientes.

4.1 Muestreo

4.1.1 Llenado del recipiente

4.1.1.1 En muestras que se van a utilizar para la determinación de parámetros físicos y químicos, llenar los frascos completamente y taparlos de tal forma que no exista aire sobre

la muestra. Esto limita la interacción de la fase gaseosa y la agitación durante el transporte (así se evita la modificación del contenido de dióxido de carbono y la variación en el valor del pH, los bicarbonatos no se conviertan a la forma de carbonatos precipitables; el hierro tienda a oxidarse menos, limitando las variaciones de color, etc.).

4.1.2 Refrigeración y congelación de las muestras

4.1.2.1 Las muestras se deben guardar a temperaturas más bajas que la temperatura a la cual se recolectó. Los recipientes se deben llenar casi pero no completamente.

4.1.2.2 La refrigeración o congelación de las muestras es efectiva si se la realiza inmediatamente luego de la recolección de la muestra. Se debe usar, cajas térmicas o refrigeradores de campo desde el lugar del muestreo.

4.1.5 Transporte de las muestras

4.1.5.1 Los recipientes que contienen las muestras deben ser protegidos y sellados de manera que no se deterioren o se pierda cualquier parte de ellos durante el transporte.

4.1.5.2 El empaque debe proteger los recipientes de la posible contaminación externa y de la rotura, especialmente de la cercana al cuello y no deben ser causa de contaminación.

4.1.6 Recepción de las muestras en el laboratorio

4.1.6.1 Al arribo al laboratorio, las muestras deben, si su análisis no es posible inmediatamente, ser conservadas bajo condiciones que eviten cualquier contaminación externa y que prevengan cambios en su contenido.

4.1.6.2 Es recomendable para este propósito el uso de refrigeradoras o de lugares fríos y oscuros.

4.1.6.3 En todos los casos y especialmente cuando se requiera establecer la cadena de custodia es necesario verificar el número recibido, contra el registro del número de recipientes enviados por cada muestra.

8. METODOLOGÍA E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

8.1. Metodología de la investigación

En este capítulo se describe la metodología, herramientas y técnicas utilizadas durante la investigación, las cuales permitieron describir las características relevantes del área de estudio y la situación de distribución del recurso hídrico. Además se aplicó un “muestreo simple”, en la captación, en el tanque de regulación y “muestreo al azar” en un domicilio

del sector, luego se realizó un análisis comparativo de los límites máximos permisibles establecidos en la norma TULSMA.

8.1.1. Tipo de investigación

Durante el estudio se aplicó la investigación de campo, este tipo de investigación permitió detallar la situación real del recurso hídrico y del sistema de distribución del agua, además la toma de muestras de la vertiente natural utilizando el protocolo para el análisis de laboratorio con sus respectivos resultados, y obtención de información para la elaboración de la propuesta de tratamiento del recurso hídrico.

Por medio de la Investigación cualitativa se realizó un análisis comparativo de cumplimiento y no cumplimiento de los resultados obtenidos en el análisis físico- químico y microbiológico, con los límites máximos permisibles establecidos en la norma del TULSMA, con ello se examinó el estado actual del sistema de distribución y la calidad del agua.

8.1.2. Métodos de estudios

El método inductivo ayudó en el proceso de la investigación, mediante la observación del área de estudio para la obtención de resultados sobre la problemática actual de los componentes del sistema de distribución de agua (captación, tanque de regulación, conducción del agua entubada), los cuales permitieron proporcionar una propuesta sobre la gestión del recurso hídrico.

Mediante el método deductivo se obtuvo contenido implícito de los diferentes parámetros (pH, turbidez, temperatura, color, alcalinidad total, bicarbonatos, carbonatos, dureza total, calcio, magnesio, hierro, cloruros, sulfatos, fosfatos, nitratos, nitritos,, solidos totales disueltos SDT, demanda bioquímica de oxígeno DBO, demanda química de oxígeno DQO, coliformes fecales, coliformes torales) que fueron analizados en un laboratorio, los cuales determinaron la calidad del agua para consumo humano.

Mediante el método de análisis se analizó los parámetros físicos, químicos y biológicos, tomando de referencia a la normativa ecuatoriana con los límites permisibles de libro VI del TULSMA, requerido para agua de consumo.

8.1.3. Técnicas aplicadas

La técnica de “Observación” permitió obtener información de manera directa e indirecta del área de estudio, el medio social y sobre información relevante del impacto sobre la comunidad.

Mediante la “Entrevista” fue fundamental para obtener información del representante y moradores del barrio San José de Pichul, quienes tienen conocimiento sobre la problemática del recurso hídrico, desde la captación, conducción, distribución, organización y uso del mismo.

Durante la investigación se aplicó dos tipos de muestreo. Un muestreo simple en la captación, en el tanque de regulación y “muestreo al azar” en un domicilio del sector. Con este muestreo se detalló la calidad del recurso hídrico.

8.1.4. Instrumentos utilizados

Los instrumentos utilizados durante la investigación fueron:

Una libreta de campo para detallar aspectos de estudio en su momento,

Cámara fotográfica para evidenciar las diversas actividades realizadas durante la ejecución del proyecto.

La Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169:2013 plantea información sobre las técnicas y precauciones generales que se deben tomar en cuenta para muestrear, conservar y transportar todo tipo de muestras de agua.

GPS, instrumento fundamental para georreferenciar el área de estudio.

GPS Location, aplicación gratuita para Smartphone y georeferenciar el área de estudio.

8.1.5. Datos experimentales

Caudal

Para la medición del caudal se utilizó el método volumétrico, se tomó 5 mediciones del agua que llega al tanque de captación con la ayuda de un recipiente de 10 litros de capacidad y un cronómetro, promediando el resultado de estas mediciones se obtuvo el caudal para realizar la propuesta de tratamiento. (ANEXO 2)

Tabla 3. Medición del caudal

Mediciones	Volumen (lt)	Tiempo (s)	Caudal (lt/s)	Caudal promedio
1	10	3,4	2,94	2,90 lt/s
2	10	3,3	3,03	
3	10	3,5	2,85	
4	10	3,4	2,94	
5	10	3,6	2,78	

Fuente. Elizabeth Flores

8.2. Descripción del área de estudio

Ilustración 1. Área de estudio



Fuente. Google Earth Pro

8.2.1. División política

País:	Ecuador
Región:	Sierra
Provincia:	Cotopaxi
Cantón:	Latacunga
Parroquia:	Eloy Alfaro

Lugar de investigación: San José de Pichul es un barrio que se abastece de agua para consumo humano de una vertiente natural llamada pailaguayco. La toma de muestras se realizó en la vertiente natural, tanque de regulación y domicilio.

8.2.2. Ubicación geográfica

Longitud: 076° 2335
 Latitud: 98° 97320
 Altitud: 2814m.s.n.m

8.2.3. Condiciones ambientales

Temperatura media anual: 9 - 18 °C
 Precipitación media anual: 500 – 1500 mm/año
 Humedad relativa: 65 - 85 (%)

8.2.4. Sistema de agua entubada

El barrio San José de Pichul cuenta con un sistema de agua entubada que comprende: una vertiente llamada Pailaguayco, un tanque reservorio, conducción y conexiones domiciliarias, que fueron construidas en el año 1996 sin asistencia técnica por la comunidad y por el presidente de la junta el Sr. Miguel Santos y apoyo del Dr. Rubén Terán y la Sra. Blanca Guamangate.

Captación

Para la vertiente de abastecimiento se construyó un tanque de hormigón de 3m² con una profundidad de 2,50m lugar se almacena el agua. (ANEXO 3)

Conducción

Al encontrarse la vertiente a 2814 msnm la tubería se conduce a 150 m de altura, se utiliza tres bombas de presión de 25 hp que utilizan en el día y las de 10hp y 15hp que son utilizadas en la noche. Se utiliza 1750 m de tubería PVC de mpa para llegar al tanque de reserva.

Tratamiento

En el 2012 se construyó una caseta de cloración para desinfectar el agua de manera permanente. (ANEXO 4)

Tanque de regulación

El tanque se encuentra construido de hormigón con una capacidad de 50.000 lt, cuenta con sifones de entrada y salida, también llaves de regulación y mantenimiento. (ANEXO 5)

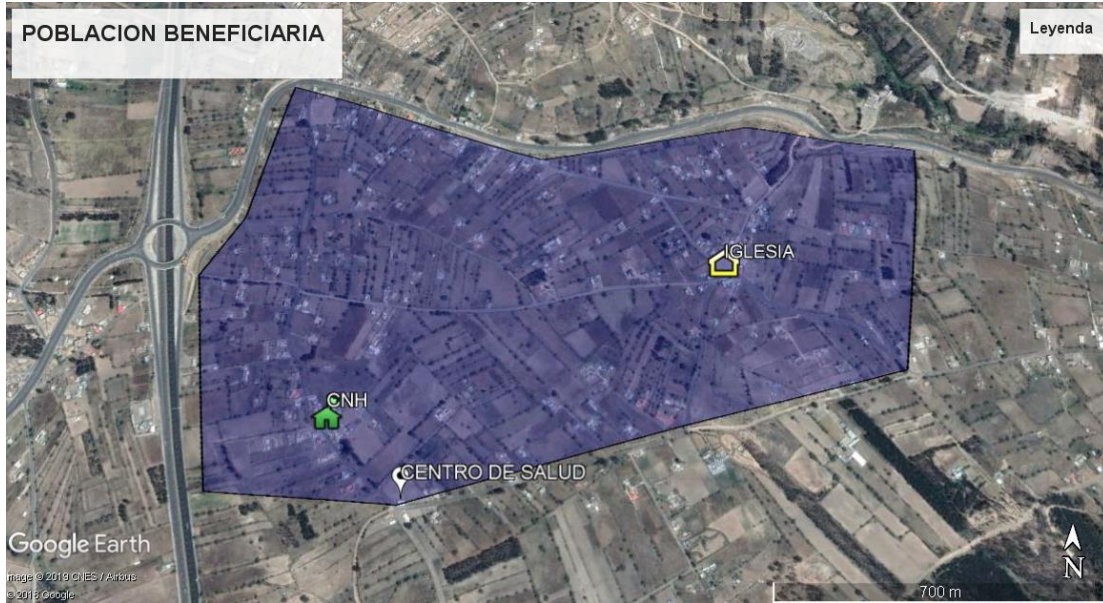
Red de distribución y conexiones domiciliarias

Existe 387 conexiones domiciliarias, el sistema de tubería es cambiado repentinamente debido a las incrustaciones de calcio y magnesio que se sedimentan en la tubería.

8.2.5. Población beneficiaria del sistema de agua entubada

La población que se beneficia de este servicio es principalmente el barrio San José de Pichul, además en el sector existe una Iglesia, Creciendo con Nuestros Hijos CNH y el Centro de Salud los cuales se benefician del suministro del recurso.

Ilustración 2. Población beneficiaria



Fuente. Google Earth Pro

8.3. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El Barrio san José Pichul, es abastecido de agua para consumo humano por una vertiente natural llamada Pailaguayco, el agua de la vertiente es extraída por medio de una bomba eléctrica hasta el tanque de regulación el cual cuenta con una capacidad de 50.000 litros.

El barrio san José de Pichul en la actualidad se abastece con un caudal de 2,9 lts, cabe mencionar que el caudal disminuye en la época de verano.

La profundidad del pozo de agua es de 2,5m y para la extracción del agua utilizan tres bombas de 10 hp, 15 hp utilizadas en la noche y la bomba de 25 hp utilizada en el día.

Para verificar la calidad de agua de consumo humano de este lugar se realizó un análisis físico-químico y microbiológico. Los puntos de muestreo se tomaron de 3 lugares. (ANEXO 6)

Tabla 4. Puntos de muestreo

PUNTOS	X	Y	COTA
Muestra 1 Captación	0762335	9897320	2814m.s.n.m
Muestra 2 Tanque de regulación	0761267	9895943	2936m.s.n.m
Muestra 3 Consumidor final domicilio del sector.	0763185	9896662	2871m.s.n.m

Elaborado por. Elizabeth Flores

Tabla 5. Reporte de análisis de agua (ANEXO 7)

Parámetro	Unidades	TULSMA, libro vi, anexo 1(2015)	Muestra 1 Captación			Muestra 2 Tanque de distribución			Muestra 3 Domicilio		
			Resultados	C	NC	Resultados	C	NC	Resultados	C	NC
ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO											
pH	6-9	6,84	X		6,65	X		6,77	X	
Turbidez	NTU	100	0,73	X		0,79	X		0,37	X	
Temperatura	°C	Condición natural + o -3	13,00	X		13,00	X		13,00	X	
Color	U. Pt-Co	100	3,00	X		2,00	X		2,00	X	

Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	**	715,57			675,54			675,54	
Alcalinidad fenolftaleína	mg/L CaCO ₃	**	0,00			0,00			0,00	
Bicarbonatos (CO ₃ H ⁻)	mg/L CaCO ₃	**	715,57			657,54			675,54	
Carbonatos (CO ₃ =)	mg/L CaCO ₃	**	0,00			0,00			0,00	
Hidroxilos (OH ⁻)	mg/L CaCO ₃	**	0,00			0,00			0,00	
Dureza total	mg/L CaCO ₃	500	660,66	X		694,42	X		733,00	X
Dureza cálcica	mg/L CaCO ₃	**	472,59			395,43			361,68	
Dureza magnésica	mg/L CaCO ₃	**	188,07			298,99			371,32	
Calcio(Ca ⁺⁺)	mg/L	**	189,80			158,81			145,25	
Magnesio (Mg ⁺⁺)	mg/L	**	45,87			72,92			90,57	
Hierro (Fe ⁺⁺⁺)	mg/L	1,0	0,14	X		0,03	X		0,06	X
Cloruros (Cl ⁻)	mg/L	250	53,39	X		48,53	X		53,39	X
Sulfatos (SO ₄ =)	mg/L	400	350,00	X		370,00	X		360,00	X
Fosfatos	mg/L	**	6,27			5,52			11,02	
Nitritos (NO ₂ ⁻)	mg/L	1,0	0,01	X		0,01	X		0,01	X
Nitratos (NO ₃ ⁻)	mg/L	10,0	1,50	X		1,40	X		1,50	X
Sólidos totales disueltos	mg/L	1000	65,00	X		0,02	X		0,00	X
DBO	mg/L	2,0	3,80	X		17,60	X		1,26	X
DQO	mg/L	4,0	17,00	X		59,00	X		4,00	X
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO										
Coliformes fecales	UFC/ ml	600	0	X		0	X		0	X
Coliformes totales	UFC/ ml	3000	0	X		0	X		0	X

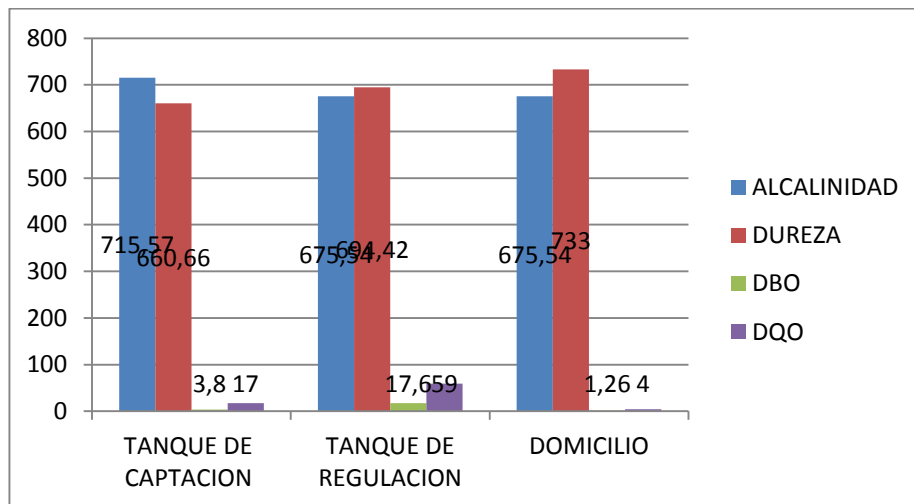
Elaborado por. Elizabeth Flores

** Límite no se establece en la Norma de referencia Tabla 1. Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico. TULSMA, libro vi, anexo 1(2015)

C Cumple

NC No Cumple

Ilustración 3. Resultados de los parámetros fuera del límite máximo permisible



Elaborado por. Elizabeth Flores

Análisis de datos

Los resultados obtenidos del laboratorio de las muestras de agua, indican que existen tres parámetros fuera de los límites máximos permisibles que se establecen en la normativa ecuatoriana. Uno de los parámetros es la dureza, la muestra del tanque de captación es de 660,66 mg/L, en el tanque de regulación es de 694,42 mg/L y en un domicilio del sector es de 733,00 mg/L notablemente en los tres puntos de muestreo los límites sobrepasan de 500 mg/L, establecidos en la norma. Otro parámetro fuera del límite es la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en la normativa se establece el valor de 2 mg/L, es así que en el primer punto es de 3,80 mg/L, en el segundo punto es de 17,60 mg/L y en el tercer punto cabe mencionar que el parámetro se encuentra dentro de los límites con un valor de 1,26 mg/L. La Demanda Química de Oxígeno (DQO) dentro de la normativa tiene un valor de 4,0 mg/L, en el primer punto el valor es de 17,00 en el segundo punto es de 59,00 mg/L y en el tercer punto el valor es exacto de 4,00 mg/L.

De acuerdo con los resultados obtenidos del laboratorio donde indican que los parámetros como la dureza total, (DBO) y (DQO) no cumplen con los límites máximos permisibles, la propuesta que se establecerá será de acuerdo con dichos parámetros para mejorar la calidad del recurso agua que se abastece para consumo humano.

9. PROPUESTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA EL BARRIO SAN JOSÉ DE PICHUL

9.1. Introducción

El recurso hídrico es uno de los elementos esenciales para el desarrollo de los pueblos, es por ello que se debe realizar estudios y diseños del sistema de agua donde se propongan alternativas relativamente económicas pero no menos eficientes.

Millones de personas en la actualidad para poder sobrevivir, no solo deben preservar el recurso hídrico sino que además de ello deben tener disponibilidad, accesibilidad y calidad del mismo.

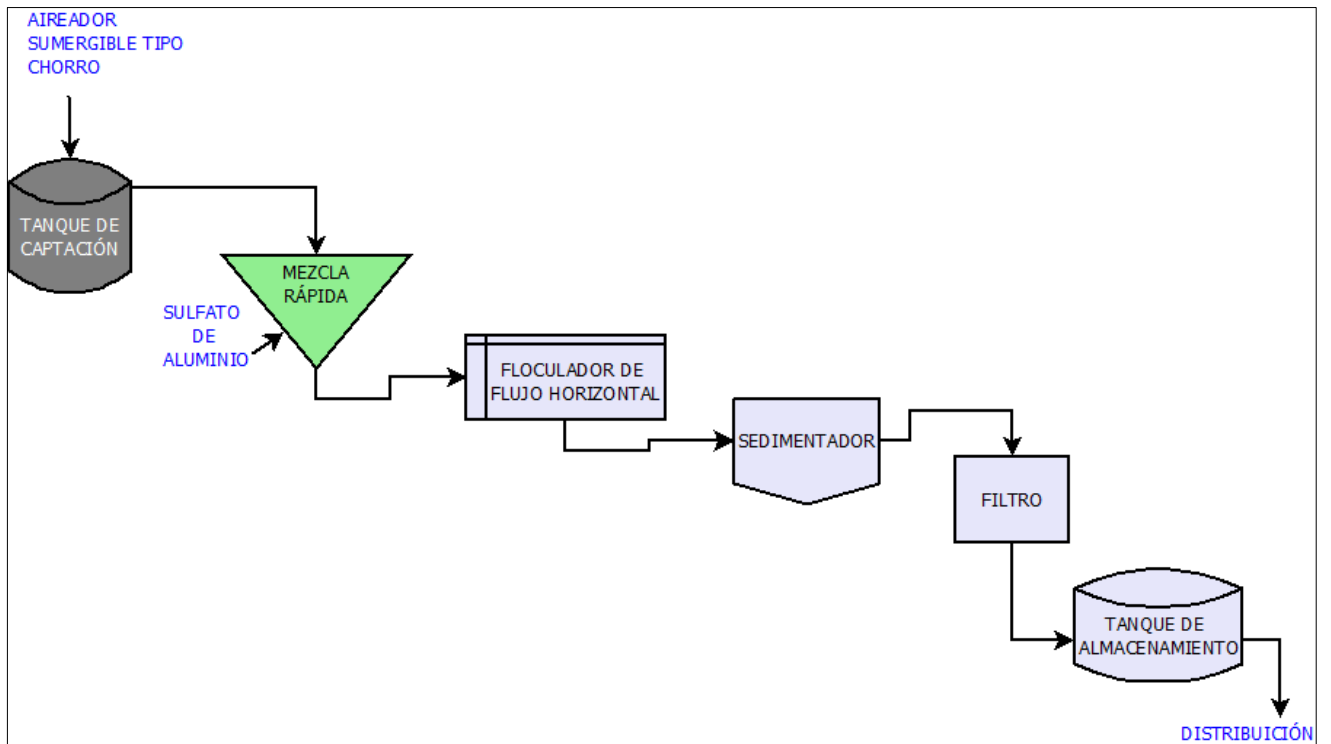
El abastecimiento de agua en el barrio San José de Pichul, es captado de una vertiente natural denominada Pailaguayco, la cual es consumida por los pobladores desde hace 20 años atrás sin previo tratamiento.

De acuerdo con la interpretación de los resultados de análisis de laboratorio, se constató alta concentración de Dureza Total, además Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO) fuera de los límites máximos permisibles establecidos en la norma ecuatoriana.

La propuesta de tratamiento se basa en proponer un modelo de gestión que consta de un sistema de aireación, coagulación - floculación, sedimentación y filtración, lo cual permitirá mejorar la calidad del recurso buscando equilibrio entre crecimiento económico, equidad y sustentabilidad ambiental.

9.2. Diagrama de flujo del Modelo de gestión del recurso hídrico

Ilustración 4. Diagrama de flujo del Modelo de gestión del recurso hídrico



Elaborado por. Elizabeth Flores

9.3. Modelo de gestión del recurso hídrico

9.3.1. Población futura

Uno de los factores más importantes en el proyecto de abastecimiento de agua viene a ser el número de personas beneficiadas, que se determina estadísticamente proyectada hacia el futuro.

$$Pf = Po (1 + r)^t \quad \text{Ecuación 1}$$

Pf= población futura
Po= población inicial
r= tasa de crecimiento
t = tiempo de proyección

9.3.2. Caudal de diseño

Se calcula el caudal promedio y el caudal máximo para empezar con el diseño del modelo de gestión.

Caudal promedio

$$Qp = \frac{D}{86400s} \times Pf \quad \text{Ecuación 2}$$

Qp= caudal promedio
D= dotación en Ecuador es de 150lt/ s.
Pf= población futura

Caudal máximo

$$Qd = Qp \times Cr \quad \text{Ecuación 3}$$

Qd= caudal de diseño
Qp= caudal promedio
Cr= coeficiente

9.3.3. Diseño del sistema de aireación

Mediante este proceso se pone en contacto el agua con el aire, el objetivo principal es proporcionar oxígeno a los microorganismos para que transformen y degraden la materia orgánica.

Cumple las siguientes funciones:

- Transfiere oxígeno disuelto
- Remueve sustancias volátiles
- Disminuir la concentración de CO₂
- Disminuir la concentración de H₂S
- Remover gases como metano, cloro y amoníaco
- Oxidar hierro y manganeso
- Remover compuestos orgánicos volátiles
- Remover sustancias volátiles productoras de olores y sabores

La aireación representa una de las operaciones de uso más intensivo de energía en los sistemas de tratamiento, mediante equipos de aireación difusa, equipos de turbina y aireadores mecánicos.

La aireación cumple sus objetivos de purificación del agua mediante el arrastre o barrido de las sustancias volátiles causado por la mezcla turbulenta del agua con el aire y por proceso de oxidación de los metales y los gases.

El proceso de aireación se hace en diferentes formas, pero en esencia se busca que tenga contacto directo con el ambiente, interactuando con acción de la fuerza de gravedad a este tipo de aireadores se le conoce como aireadores de caída de agua como los son los aireadores de fuente o surtidores, aireadores de bandejas múltiples, aireadores en cascada y vertederos.

9.3.4. Mezcla rápida

Este proceso es empleado en el tratamiento del agua con el fin de dispersar diferentes sustancias químicas. En plantas de purificación de agua el mezclador rápido tiene generalmente el propósito de dispersar rápida y uniformemente el coagulante a través de toda la masa o flujo de agua.

La mezcla rápida puede efectuarse mediante turbulencia, provocada por medios hidráulicos en canales, canaletas Parshall, vertederos rectangulares, tuberías de succión de bombas, mezcladores mecánicos en línea, rejillas difusoras, chorros químicos y tanques con equipo de mezcla rápida.

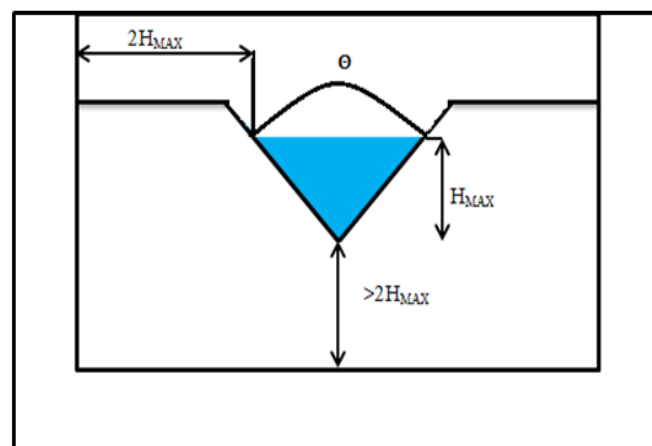
En los mezcladores hidráulicos la mezcla es ejecutada como resultado de la turbulencia que existe en el régimen de flujo; en los mecánicos la mezcla es inducida a través de impulsores rotatorios del tipo de hélice o turbina.

Para los mezcladores rápidos mecánicos se utilizan tanques generalmente de sección circular o cuadrada, estos consisten en hélices, paletas, turbinas u otros elementos similares acoplados a un eje de rotación impulsado por una fuerza motriz cualquiera.

9.3.5. Diseño del vertedero para la mezcla rápida

Vertedero triangular

Ilustración 5. Diseño transversal del vertedero triangular



Elaborado por. Elizabeth Flores

Este tipo de mezclador consiste en un canal rectangular y un vertedero de 90° colocado a una altura medida del vértice del vertedero al fondo del canal. Esta alternativa es apropiada para caudales pequeños.

El diseño parte de la ecuación general del vertedero triangular, tal como se muestra a continuación:

Caudal en un vertedero triangular de pared delgada

$$Q = \frac{8}{15} C_d \sqrt{2g} \left(\tan \frac{\theta}{2} \right) H^{\frac{5}{2}} \quad \text{Ecuación 4}$$

Q= Caudal del vertedero

Cd= coeficiente en función del ángulo del vertedero

Θ= ángulo de abertura del vertedero

H= altura de la lámina de agua sobre el vertedero

Donde Cd varía según el ángulo del vertedero tal como se establece en la siguiente tabla:

Tabla 6. Coeficiente Cd para diversos ángulos de vertederos

Ángulo θ	Cd
15	0.75
30	0.72
45	0.69
60	0.54
90	0.60

Fuente. Universidad del Cauca. Departamento de hidráulica, Practica II Estudio y patronamiento de vertederos. Disponible en: http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/2_vertederos.pdf

Los cálculos para el diseño deben seguir un orden:

Caudal unitario

$$q = \frac{Q}{B} \quad \text{Ecuación 5}$$

q= caudal unitario

Q= caudal total

B= Ancho de la lámina de agua en la cresta del vertedero

Altura Crítica

$$h_c = \left(\frac{q^2}{g} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Ecuación 6

hc= altura critica
g= gravedad

Profundidad después del vertedero

$$h_1 = \frac{h_c \sqrt{2}}{1.06 + \left(\frac{H}{h_c} + 1.5 \right)^{\frac{1}{2}}}$$

Ecuación 7

h₁=altura de la lámina después del vertedero
H= Altura de la lámina de agua sobre el vertedero

Velocidad al inicio del resalto

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

Ecuación 8

v₁= velocidad inicial

Número de Froude

$$F = \frac{v_1}{\sqrt{g * h_1}}$$

Ecuación 9

F= Número de Froude, este parámetro es muy importante, su resultado debe estar entre 4.5 y 9 de lo contrario se deberá replantear el diseño, ya que de esto depende que el resalto generado sea estable.

Altura después del resalto

$$h_2 = \frac{h_1}{2} * \sqrt{1 + 8F^2}$$

Ecuación 10

h₂= Altura después del resalto

Energía disipada en el resalto

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

Ecuación 11

h_p = Energía disipada

Velocidad al final del resalto

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

Ecuación 12

v_2 = Velocidad al final del resalto.

Longitud del resalto

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

Ecuación 13

L_m = Longitud del resalto

Distancia a sección estable

$$L_j = 4.3 * H * \left(\frac{h_c}{H}\right)^{0.9}$$

Ecuación 14

L_j = Distancia del vertedero a sección estable

Velocidad promedio en el resalto

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

Ecuación 15

v_m = Velocidad media

Tiempo de mezcla

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

Ecuación 16

T= Tiempo de mezcla

Gradiente de velocidad

$$G = \sqrt{\frac{\gamma * h_p}{\mu * T_m}}$$

Ecuación 17

G= Gradiente de velocidad
 γ = peso específico del agua
 μ = viscosidad dinámica

Consideraciones Adicionales para el diseño de un vertedero triangular

Tabla 7. Propiedades Físicas del Agua a 1 Atmósfera de Presión

Temperatura °C	Densidad ρ Kg/m ³	Peso específico γ kN/m ³	Viscosidad dinámica μ 10 ⁻³ Pa s	Viscosidad cinemática ν 10 ⁻⁶ m ² /s
10	999,703	9,804	1,307	1,307
12	999,500	9,802	1,235	1,236
13	999,400	9,800	1,206	1,207
15	999,103	9,798	1,139	1,139
17	998,778	9,795	1,081	1,082
18	998,599	9,793	1,053	1,054
19	998,408	9,791	1,027	1,029
20	998,207	9,789	1,002	1,004

Fuente. miliarium.com/Paginas/Prontu/Tablas/Aguas/PropiedadesFisicasAgua.

9.3.6. Floculación – mezcla lenta – floculador de flujo horizontal

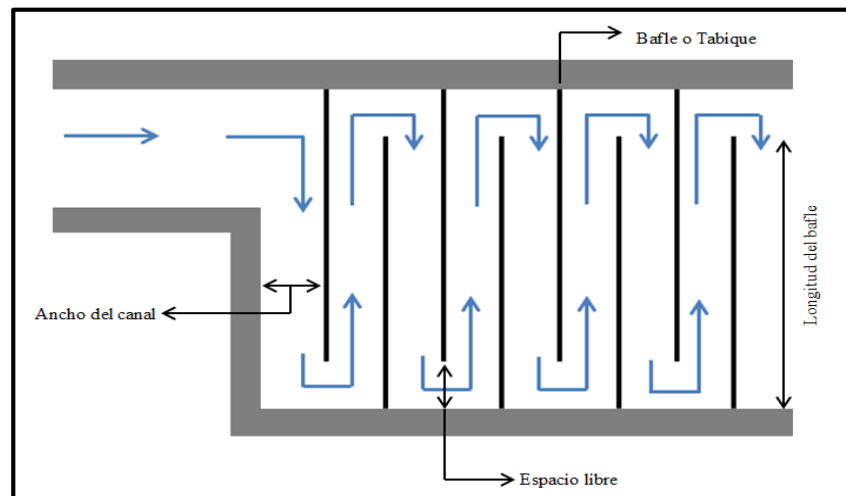
La floculación o mezcla lenta se caracteriza por una agitación lenta del agua, permitiendo así la acumulación de floc.

La floculación responde a dos objetivos básicos:

- Primero acumular el floc permitiendo así que las partículas ganen un peso específico mayor al del agua.
- Segundo objetivo es compactar el floc para que la sedimentación y filtración sean más efectivas.

Los floculadores de flujo horizontal, son usados para plantas de tratamiento pequeñas de caudales menores a 50 L/s. En este tipo de floculadores, el agua se desplaza en sentido horizontal entre dos tabiques consecutivos haciendo el giro al final de cada uno. Se encuentra separado por pantallas de concreto u otro material adecuado, dispuesto de forma que el agua haga un recorrido de ida y vuelta alrededor de las mismas.

Ilustración 6. Floculador de flujo horizontal



Elaborado por. Elizabeth Flores

Para el diseño del floculador se debe realizar los siguientes cálculos:

Distancia total recorrida

$$L = v * t \quad \text{Ecuación 18}$$

v = Velocidad inicial.
t = Tiempo de retención.

Volumen de agua a mezclar

$$V = Q * t \quad \text{Ecuación 19}$$

V = Volumen de agua a mezclar.
Q = Caudal a tratar

Área transversal requerida

$$A = \frac{Q}{v_2} \quad \text{Ecuación 20}$$

A: Sección a área transversal requerida de los canales (m)

Profundidad de la lámina de agua

$$d = \frac{A}{a} \quad \text{Ecuación 21}$$

d = Profundidad del agua. (m)
a = Separación entre baffles. (m)

Espacio libre entre tabiques

$$e = 1,5 * a \quad \text{Ecuación 22}$$

e = Espacio libre entre los tabiques y la pared del tanque (m)
a = Separación entre baffles. (m)

Longitud efectiva

$$l = Bf - e \quad \text{Ecuación 23}$$

l = Longitud efectiva de cada canal (m)

B_f = Ancho del floculador (m)

Número requerido de canales

$$N = \frac{L}{l} \quad \text{Ecuación 24}$$

N = Número de canales (adimensional)

Longitud total interior de la cámara de floculación

$$L_T = N * a + (N - 1)b \quad \text{Ecuación 25}$$

L_T = Longitud total de la cámara de floculación (m)

b = Espesor de la lámina o tabique (m)

El radio hidráulico

$$R = \frac{A}{2d} \quad \text{Ecuación 26}$$

R = Radio hidráulico (m). Relación entre el área mojada y el perímetro mojado.

Pérdidas por fricción

$$h_f = \frac{(nv)^2 * L}{R^3} \quad \text{Ecuación 27}$$

h_f = La pérdida por fricción en el tanque (m). Se generan a lo largo de los canales o en los tramos rectos y se calculan a partir de la ecuación de Manning

v = Velocidad (m/s)

L = Distancia total recorrida por el agua (m)

n = Coeficiente de Fricción

R = Radio hidráulico del canal

Pérdidas adicionales

$$h_a = \frac{K(N - 1)v^2}{2g} \quad \text{Ecuación 28}$$

h_a = pérdida adicional por curvas en el canal (m). Son aquellas que se generan principalmente en las vueltas o giros que da el agua al pasar de un canal a otro

$N-1$ = número de tabiques o baffles

v = velocidad promedio de flujo

k = Constante empírica (2 a 4, comúnmente 3)

La pérdida total

$$H = h_f + h_a \quad \text{Ecuación 29}$$

Gradiente de velocidad

$$G = \sqrt{\frac{gH}{vt}} \quad \text{Ecuación 30}$$

G = gradiente de velocidad, tiempo para que las partículas por efecto de la gravedad descieran y se acumulen en el fondo del tanque.

H = pérdida de carga total (m)

t = tiempo de mezcla (min)

μ = Viscosidad Cinemática del agua a 13°C (m²/s)

g = Gravedad (m/s²)

Número adimensional de Camp

$$Gt = G * t \quad \text{Ecuación 31}$$

Consideraciones adicionales para diseñar un floculador de flujo horizontal

Tabla 8. Parámetros de diseño para floculadores hidráulicos de tabiques

Criterio	G (s ⁻¹)	t (min)	Gt	v (m/s)	h _t
Smethurst	20 – 100	10 – 60	20000 – 150000	0,15 – 0,50	0,15 – 0,60
Arboleda	10 – 100	15 – 20	-	0,10 – 0,60	-
Insfopal	-	15 – 60	-	0,15 – 0,45	-
Hardenbergh y Rodie	-	20 – 50	-	0,15 – 0,45	-
Fair y Geyer	-	10 – 90	-	0,10 – 0,90	0,30 – 0,90
Awwa	5 – 100	10 – 60	30000 – 150000	0,09 – 0,30	-
Cepis	10 – 100	10 – 60	-	0,10 – 0,60	-
RAS 2000	20 – 70	20 – 30	-	0,20 – 0,60	-

Fuente. VILLEGAS, M. P. Purificación Aguas.

Tabla 9. Valores Típicos de Coeficientes de Rugosidad de Manning

Material	Coefficiente de Manning (n)
Asbesto – cemento	0,012
Latón	0,011
Hierro fundido	0,012
Concreto (cimbra metálica)	0,011
Concreto (cimbra madera)	0,015
Concreto simple	0,013
Cobre	0,011
Acero corrugado	0,022
Plástico (PVC)	0,009
Madera (duelas)	0,012
Vidrio (laboratorio)	0,011

Fuente. Coeficientes de Rugosidad (Haestad).pdf

Tabla 10. Parámetros de Diseño de Floculadores de Tabiques

Parámetro	Valor	Unidad
Tiempo de mezcla o de retención, t	20 (promedio)	min
Ancho útil de la cámara de floculación, Bf	4,5	m
Factor de seguridad para el tanque, fs	10 (Recomendado)	%
Distancia entre bafles, a	0,15 (Recomendado)	m
Espesor de cada tabique, b	3 (Recomendado)	cm
Constante empírica para calcular pérdidas adicionales, k	3	-

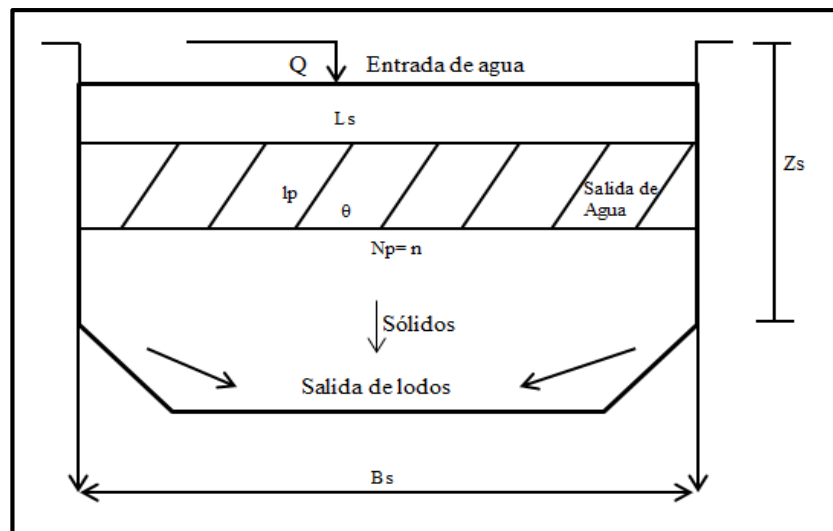
Fuente. ROMERO, J. A. Purificación del Agua.

9.3.7. Sedimentación Laminar de Placas

“Se entiende por sedimentación a aquellos fenómenos mediante los cuales los sólidos en suspensión en un fluido son separados del mismo, debido al efecto de la gravedad”. (ARBOLEDA).

Una vez culminado el proceso de floculación el agua en tratamiento es sometida a un proceso de sedimentación con la finalidad de sedimentar los flóculos que se han producido en la etapa previa.

Ilustración 7. Sedimentador laminar



Elaborado por. Elizabeth flores

Fuente. VILLEGAS, M. P. Purificación de Aguas.

Para el diseño del sedimentador se debe realizar los siguientes cálculos:

Carga Superficial

$$V_{so} = \frac{l_p}{t_{rp}}$$

Ecuación 32

V_{so} =Carga superficial después de instalar las placas (m/min).

L_p = longitud de las placas (m)

T_{rp} = tiempo de retención en las placas (min)

Área de sedimentación acelerada

$$A_s = \frac{Q}{V_{so} \sin \theta}$$

Ecuación 33

A_s = Área superficial de sedimentación acelerada (m²)

Q = Caudal de diseño (m³/d)

θ = Angulo de inclinación del elemento de sedimentación.

Longitud del área de sedimentación acelerada

$$L_s = \frac{A_s}{B_s}$$

Ecuación 34

L_s = Longitud del área de sedimentación acelerada (m)

B_s = Ancho del sedimentador (m)

Longitud relativa del sedimentador

$$L_r = \frac{l_p}{e_p}$$

Ecuación 35

L_r = Longitud relativa del sedimentador (adimensional)

e_p = Distancia entre placas (m)

Longitud relativa en la región de transición

La longitud de transición que es la región donde el flujo uniforme se va convirtiendo en laminar se la puede calcular mediante la ecuación de Schulze:

$$L' = \frac{0,013 v_{so} * e_p}{\nu}$$

Ecuación 36

L' : Longitud relativa en la región de transición (adimensional)

ν : Viscosidad cinemática del fluido (m²/s)

Longitud relativa corregida

$$L_c = 2(L_r - L') \quad \text{Si } L' > L_r/2$$

$$L_c = L_r - L' \quad \text{Si } L' \leq L_r/2$$

Ecuación 37L_c: Longitud relativa corregida (adimensional)***Velocidad crítica de sedimentación***

$$v_{sc} = \frac{S_c * v_{so}}{\sin 60 + L_c \cos 60}$$

Ecuación 38V_{sc} = Velocidad crítica de sedimentación (m/d)S_c = Constante para cada tipo de módulo (adimensional)V_{so} = Velocidad media de flujo en las placas o carga superficial después de instalar las placas (m/d)***Número de Reynolds***

$$N_{RE} = \frac{v_{so} * e_p}{\nu}$$

Ecuación 39N_{re} = Número de Reynolds (adimensional)***Volumen del sedimentador***

$$V_{TS} = L_s * B_s * Z_s$$

Ecuación 40V_{TS} = Volumen del sedimentador (m³)Z_s = Altura del sedimentador (m)***Tiempo de retención en el tanque de sedimentación***

$$t_{RC} = \frac{V_{TS}}{Q}$$

Ecuación 41T_{is} = Tiempo de retención en el tanque de sedimentación (min)Q = Caudal de diseño (m³/s)

Número de placas

$$N_p = \frac{[L_s - (l_p \cos \theta)] \sin \theta + e_p}{e_p + b_p}$$

Ecuación 42

N_p = Número de placas (adimensional)

b_p = Espesor de las placas (m)

Consideraciones adicionales para el diseño de un sedimentador

Tabla 11. Parámetros de Diseño de Sedimentadores Laminares

Parámetro	Valor
Tiempo de retención en las placas (trp)	15 – 25 min
Número de Reynolds (NRe)	< 500 (Fisherstrom) < 250 (Arboleda) < 200 (Montgomery) < 280 (Schulz y Okun)
Ángulo de Inclinación de las placas (θ)	60°
Distancia entre placas (ep)	5 cm
Altura sugerida del Sedimentador (Zs)	3 – 5 m
Pendiente del fondo	> 2%

Fuente. ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Sedimentación

Tabla 12. Parámetros de Diseño de las Placas Planas de Asbesto – Cemento

Parámetro	Valor
Longitud (lp)	1,20 m
Ancho (Bs)	2,40 m
Espesor (bp)	0,01 m

Fuente. ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Sedimentación

Tabla 13. Valores de Sc Típicos

Tipo de módulo	Sc
Placas planas paralelas	1
Tubos circulares	4/3
Tubos cuadrados	11/8
Placas onduladas	1,30
Otras formas tubulares	1,33 – 1,42

Fuente. ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Sedimentación

Tabla 14. Tipos de Flujo según el Número de Reynolds

NRE	TIPO DE FLUJO
< 2000	Laminar
2000-4000	Transición
> 4000	Turbulento

Fuente. ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Sedimentación

9.3.8. Filtración

El último proceso para tratar el agua es el de filtración, uno de los principales factores a tener en cuenta para diseñar los filtros es la tasa de filtración que se mide también como velocidad filtrante o carga superficial.

Según Romero Jairo, las principales características de un filtro rápido son:

- Tasa de filtración: 120 m/d
- Medio filtrante: Arena
- Duración carrera: 12 horas
- Perdida de carga: 30 centímetros
- Drenaje: Falso fondo

Para el diseño del sistema de filtración se debe realizar los siguientes cálculos:

Numero de filtros

$$N = 0,044\sqrt{Q} \quad \text{Ecuación 43}$$

Q= caudal de la planta m³/día

Caudal unitario

$$q_u = \frac{Q}{n} \quad \text{Ecuación 44}$$

Área superficial

$$A_s = \frac{q_u}{C_s} \quad \text{Ecuación 45}$$

A_s = Area superficial

C_s = Tasa de filtración

9.4. Resultados del modelo de gestión de recurso hídrico (ANEXO 8)

9.4.1. Caudal de diseño

Tabla 15. Caudal de diseño

Cálculo	Fórmula	Resultados
Población futura	$Pf = Po (1 + r)^t$	$Pf = 2484 \text{ hab}$
Caudal promedio	$Qp = \frac{D}{86400s} \times Pf$	$Qp = 4,31 \text{lt/ s}$
Caudal máximo	$Qd = Qp \times Cr$	$Qd = 2,58 \text{lt/ s}$

Elaborado por. Elizabeth Flores

9.4.2. Diseño del sistema de aireación

Los sistemas de aireación mecánica constituyen una alternativa interesante en sistemas de aireación difundida de alta eficiencia.

Mediante prácticos sistemas de descenso y elevación, los aireadores sumergibles tipo chorro ofrecen una transferencia de oxígeno fiable y de bajo coste en tanques de tamaño medio y pequeño, y en tanques de retención.

Para instalar los aireadores de chorro se debe realizar con un dispositivo de elevación de bombas, basta con descender estos aireadores independientes hasta el tanque de regulación sin necesidad de vaciarlos, y se pone en marcha el aireador de chorro.

Especificaciones técnicas

Para la instalación del aireador de chorros debe tener algunas especificaciones ya que el tanque de regulación tiene 4 m de profundidad

- Debe tener 3 eyectores
- El diámetro de salida de boquilla debe ser de 95mm
- Bomba que abastece los 3020 Lt.

Ilustración 8. Aireador sumergible tipo chorro



El aireador de chorro Flygt consta de tuberías de aspiración de aire, una bomba N y eyectores y su alojamiento.

Fuente. DINATEK. Productos de aireación

9.4.3. Resultados dosificación del sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$. (ANEXO 9)

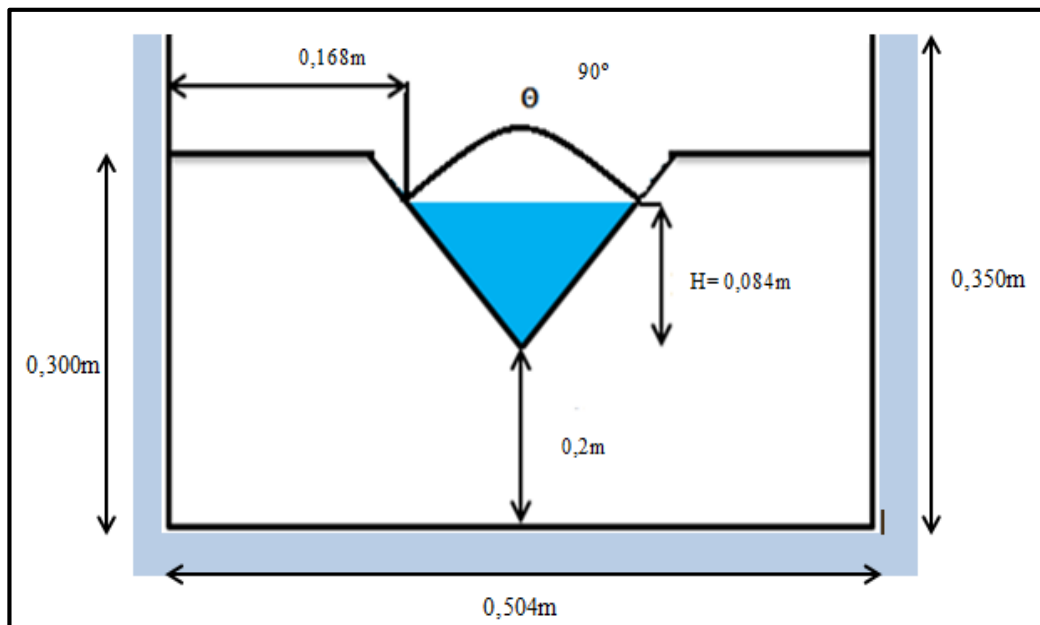
Tabla 16. Dosificación del sulfato de aluminio

Cálculo	Resultados	Nivel de dureza	
		Sin adición del coagulante	Con adición del coagulante
Dosificación del sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$.	40 mg/L	733,00 mg/L $CaCO_3$.	385,63 mg/L $CaCO_3$.

Elaborado por. Elizabeth Flores

9.4.4. Diseño del vertedero para la mezcla rápida

Ilustración 9. Diseño transversal del vertedero, respecto a la lámina de agua.



Elaborado por. Elizabeth Flores

Tabla 17. Resultados del vertedero triangular

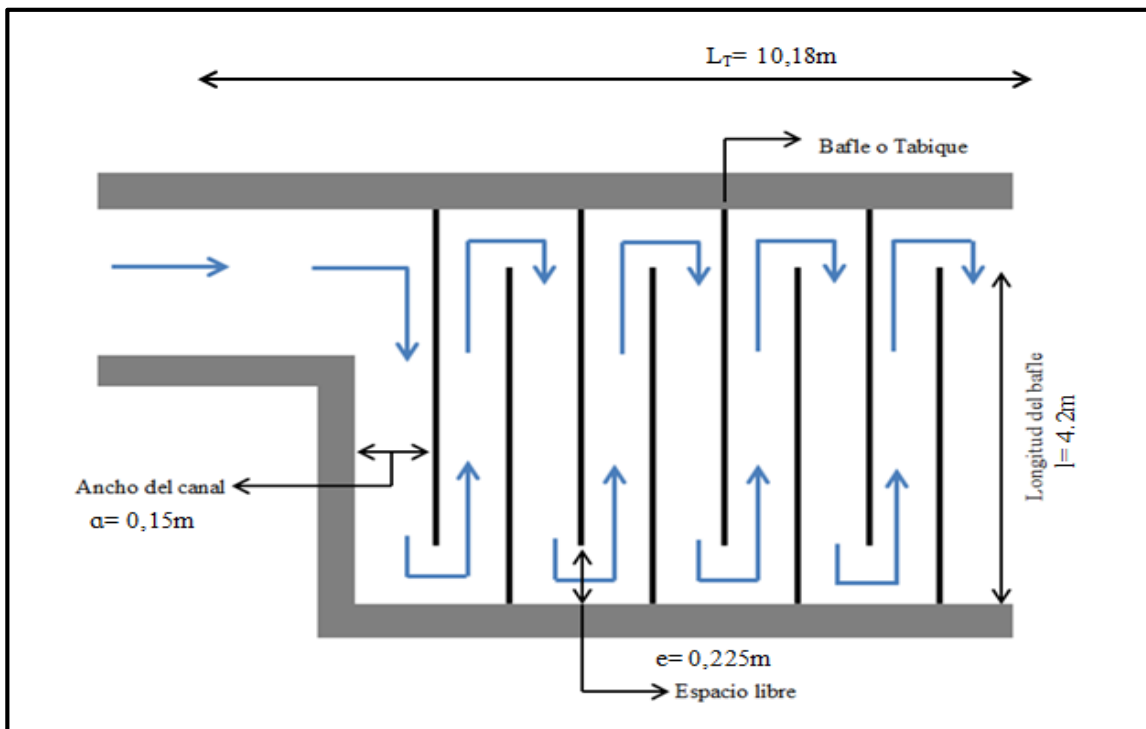
Cálculo	Fórmula	Resultados
Vertedero triangular	$H = \left(\frac{Q}{\frac{8}{15} Cd \sqrt{2g} \left(\tan \frac{\theta}{2} \right)} \right)^{\frac{2}{5}}$	H = 0,084m
Caudal unitario	$q = \frac{Q}{B}$	q = 0,017m ³ /s
Altura Crítica	$h_c = \left(\frac{q^2}{g} \right)^{\frac{1}{3}}$	h _c = 0,03m = 3cm
Profundidad después del vertedero	$h_1 = \frac{h_c \sqrt{2}}{1.06 + \left(\frac{H}{h_c} + 1.5 \right)^{\frac{1}{2}}}$	h ₁ = 0,01m

Velocidad al inicio del resalto	$v_1 = \frac{q}{h_1}$	$v_1 = 1,7\text{m/s}$
Número de Froude	$F = \frac{v_1}{\sqrt{g * h_1}}$	$F = 5,43 \text{ Cumple}$
Altura después del resalto	$h_2 = \frac{h_1}{2} * \sqrt{1 + 8F^2}$	$h_2 = 0,076\text{m}$
Energía disipada en el resalto	$h_p = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4 * h_1 * h_2}$	$h_p = 0,094$
Velocidad al final del resalto	$v_2 = \frac{q}{h_2}$	$v_2 = 0,22\text{m/s}$
Longitud del resalto	$L_m = 6 * (h_2 - h_1)$	$L_m = 0,40\text{m}$
Distancia a sección estable	$L_j = 4.3 * H * \left(\frac{h_c}{H}\right)^{0.9}$	$L_j = 0,14\text{m}$
Velocidad promedio en el resalto	$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$	$v_m = 0,96\text{m/s}$
Tiempo de mezcla	$T_m = \frac{L_m}{v_m}$	$T_m = 0,41\text{s}$
Gradiente de velocidad	$G = \sqrt{\frac{\gamma * h_p}{\mu * T_m}}$	$G = 1479,82\text{s}^{-1}$

Elaborado por. Elizabeth Flores

9.4.5. Diseño del floculador de flujo horizontal

Ilustración 10. Dimensiones del floculador



Elaborado por. Elizabeth Flores

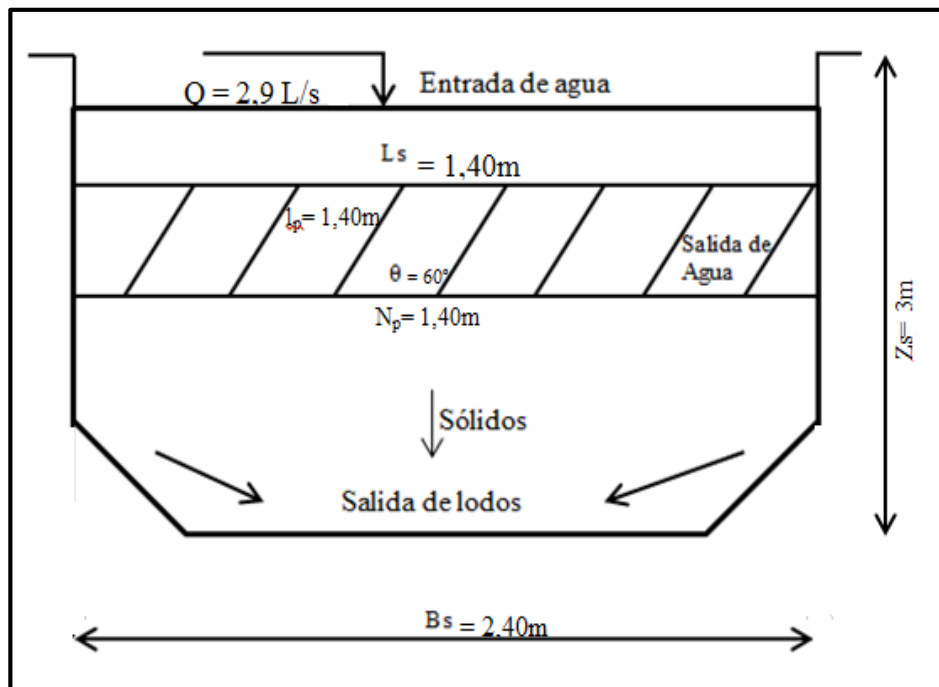
Tabla 18. Resultados del floculador

Cálculo	Fórmula	Resultados
Distancia total recorrida	$L = v * t$	$L = 264m$
Volumen de agua a mezclar	$V = Q * t$	$V = 3.48m^3$
Área transversal requerida	$A = \frac{Q}{v_2}$	$A = 0,018m^2$
Profundidad de la lámina de agua	$d = \frac{A}{a}$	$d = 0.12m$
Para un factor de seguridad del 10%, la profundidad total del tanque será:	$Z_{zf} = d * f_s$	$Z_{zf} = 0.15m$
Espacio libre entre tabiques	$e = 1,5 * 0.15$	$e = 0,225m$
Longitud efectiva	$l = Bf - e$	$l = 4.2m$
Número requerido de canales	$N = \frac{L}{l}$	$N = 63canales$
Longitud total interior de la cámara de floculación.	$L_T = N * a + (N - 1)^b$	$L_T = 10,18m$
El radio hidráulico	$R = \frac{A}{2d}$	$R = 0,075$
Pérdidas por fricción	$h_f = \frac{(nv)^2 * L}{R^{\frac{4}{3}}}$	$h_f = 0,06m$
Pérdidas adicionales	$h_a = \frac{K(N - 1)v^2}{2g}$	$h_a = 0,45m$
La pérdida total	$H = h_f + h_a$	$H = 0,51$
Gradiente de velocidad	$G = \sqrt{\frac{gH}{\mu t}}$	$G = 58,74s^{-1}$
Número adimensional de Camp	$Gt = G * t$	$Gt = 70488$

Elaborado por. Elizabeth Flores

9.4.6. Diseño del sedimentador

Ilustración 11. Dimensiones del sedimentador



Elaborado por. Elizabeth Flores

Tabla 19. Resultados del sedimentador

Cálculo	Fórmula	Resultados
Carga Superficial	$V_{so} = \frac{l_p}{t_{rp}}$	$V_{so} = 86,4 \text{ m/día}$
Área de sedimentación acelerada	$A_s = \frac{Q}{V_{so} \sin \theta}$	$A_s = 3,34 \text{ m}^2$
Longitud del área de sedimentación acelerada	$L_s = \frac{A_s}{B_s}$	$L_s = 1,40 \text{ m}$
Longitud relativa del sedimentador	$L_r = \frac{l_p}{e_p}$	$L_r = 24$
Longitud relativa en la región de transición	$L' = \frac{0,013 v_{so} * e_p}{v}$	$L' = 0,60$
Longitud relativa corregida	$L_c = L_r - L'$	$L_c = 23,4$
Velocidad crítica de sedimentación	$v_{sc} = \frac{S_c * v_{so}}{\sin 60 + L_c \cos 60}$	$v_{sc} = 6,87 \text{ m/día}$

Número de Reynolds	$N_{RE} = \frac{v_{so} * e_p}{\nu}$	$N_{RE} = 41,42$ Flujo laminar
Volumen del sedimentador	$V_{TS} = L_s * B_s * Z_s$	$V_{TS} = 10,08 \text{ m}^3$
Tiempo de retención en el tanque de sedimentación	$t_{RC} = \frac{V_{TS}}{Q}$	$t_{RC} = 58 \text{ min}$
Número de placas	$N_p = \frac{[L_s - (l_p \cos \theta)] \sin \theta + e_p}{e_p + b_p}$	$N_p = 12,5 = 13$

Elaborado por. Elizabeth Flores

9.4.7. Diseño del sistema de filtración

Según Romero Jairo, las principales características de un filtro rápido son:

- Tasa de filtración: 120 m/d
- Medio filtrante: Arena
- Duración carrera: 12 horas
- Perdida de carga: 30 centímetros
- Drenaje: Falso fondo

Tabla 20. Resultados del filtro rápido

Cálculo	Fórmula	Resultados
Número de filtros	$N = 0,44\sqrt{Q}$	$N = 0,7 = 1$ El diseño de la planta debe contar con un filtro rápido para tratar el caudal.
Caudal unitario	$q_u = \frac{Q}{n}$	$q_u = 250,56 \text{ m}^3 / \text{día}$
Área superficial	$A_s = \frac{q_u}{C_s}$	$A_s = 2,08 \text{ m}^2$

Elaborado por. Elizabeth Flores

De esta manera si se quiere un diseño cuadrado el lado de la cámara será de 1,5 metros

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Actualmente el recurso hídrico que se consume en el Barrio San José de Pichul no cuenta con un tratamiento previo, es indispensable incluir un manejo del recurso hídrico, el cual garantice que no exista afecciones en la salud de los pobladores del sector.

Luego de obtener los resultados del laboratorio de los análisis físico – químicos y microbiológicos de la captación, tanque de regulación y domicilio del sector, se determinó que tanto la dureza total, la demanda bioquímica de oxígeno y la demanda química de oxígeno presentan valores fuera de los límites establecidos en la normativa ecuatoriana TULSMA.

Una vez determinado los parámetros que se encuentran fuera del límite permisible de la normativa TULSMA, se procedió a investigar sobre la mejor gestión para el recurso hídrico. Para la dureza se propuso realizar en test de jarras utilizando el coagulante sulfato de aluminio, se determinó que al adicionar 40 mg, se disminuye notablemente el valor del parámetro fuera del límite, obteniendo el siguiente resultado: 385,63 mg/L CaCO₃.

Los sistemas de aireación en especial un aireador sumergible de tipo chorro ayuda en una mejor oxidación como complemento del proceso de coagulación y floculación disminuyendo la Demanda Química de Oxígeno y la Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Como complemento del manejo de gestión del recurso hídrico se propuso que los diferentes procesos que ayudaran a cumplir con los valores de los límites permisibles de la normativa TULSMA sean: un floculador de flujo horizontal, un sedimentador de flujo laminar y un sistema de filtración, mejorando así la calidad del recurso hídrico.

RECOMENDACIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en la investigación es necesario la implementación de un sistema de tratamiento para precautelar la salud de los habitantes del sector debido a que ya consumen este recurso hace varios años.

La Junta de agua del barrio, debería gestionar espacios cercanos a las vertientes con el fin de proteger y conservar la oferta hídrica en las épocas de verano.

En la actualidad existen diferentes impactos durante la utilización del agua y la relación con la dureza, por ello es recomendable realizar estudios y monitoreos constantes para prevenir el riesgo en la salud de los pobladores.


11. BIBLIOGRAFÍA

- AGUA, C. E. (6 de MAYO de 2010). *CANAL EDUCA* . Obtenido de UNA DECLARACION DE PRINCIPIOS SOBRE AGUA:
<https://www.canaleduca.com/wp-content/uploads/2015/09/Anexo-III-Carta-Europea-del-Agua.pdf>
- American Psychological Association. (2010). *Manual de Publicaciones de la American Psychological Association* (6 ed.). (M. G. Frías, Trad.) México, México: El Manual Moderno.
- ARBOLEDA, J. (s.f.). Teoría y práctica de la purificación del agua. Tomo 1. 3 ed. En J. ARBOLEDA. Santafé de Bogotá: McGraw-Hill. 2000.
- Chanaguano, W. P. (MARZO de 2014). *UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI - INGENIERIA AMBIENTAL*. Obtenido de DETERMINACIÓN DE LA DUREZA DE AGUA- PARROQUIA SIMIATUG.
- GUTIÉRREZ, M. A. (NOVIEMBRE de 2006). *UNIVERSIDAD DE CHILE*. Obtenido de DUREZA EN AGUAS DE CONSUMO HUMANO Y USO INDUSTRIAL, :
http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2006/neira_m/sources/neira_m.pdf
- HEINKE Henry. “Ingeniería Ambiental”. Editorial Prentice Hall (México 2015) 800 paginas
- Korbut, Q. (s.f.). *CONTAMINACION EN AGUA* . Obtenido de CONTAMINACION EN AGUA: <http://www.ingenieroambiental.com/agua2.pdf>
- LARRY Mays. . Manual de Sistema de Distribución de Agua Potable. Primera Edición. España. 2012.
- MARTERS, G. M., & ELA, W. P. (2008). INTRODUCCION A LA INGENIERIA AMBIENTAL. En W. P. GILBERT M. MARTERS, *INTRODUCCION A LA INGENIERIA AMBIENTAL* (pág. 186). MADRID: RIBERA DEL LOIRA.
- MARRÓN César. “Manual de administración, operación y mantenimiento de agua potable”. Argentina. Segunda Edición 35 paginas.
- OMS. (2006). *Guías para la calidad del agua potable*. Obtenido de http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf
- Orellana, I. J. (2005). *Ingeniería Sanitaria- UTN - FRRO* . Obtenido de CARACTERÍSTICAS DEL AGUA POTABLE - Unidad Temática N° 3:
https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_03_Caracteristicas_del_Agua_Potable.pdf
- RAMIREZ, C. A. (2014). CALIDAD DEL AGUA. En C. A. RAMIREZ, *CALIDAD DEL AGUA* (pág. 53). MEDELLIN: UNIVERSIDAD DE MEDELLIN.
- RODRÍGUEZ, L. S., & RODRÍGUEZ, D. R. (2010). La Dureza del Agua. En L. S. RODRÍGUEZ, & D. R. RODRÍGUEZ, *La Dureza del Agua* (pág. 32). Bahía Blanca: Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional – edUTecNe.
- ROMERO, JAIRO., “Tratamiento de Agua Potable: Teoría y Principios de Diseño”, 3a ed., Bogotá – Colombia, Escuela Colombiana de Ingeniería. 2004, pp. 49-246.
- Romero Rojas, J. A. (2006). Purificación del agua. Bogotá D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería.

- Romero Rojas, J. A. (2013). Tratamiento de Agua Potable. Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- SAMPIERI Hernández Roberto “Metodología de la Investigación” ED. Mcgraw Hill. México D.F. 2016
- Sánchez, L. D. (2009). Mejoramiento de la calidad del agua de riego por filtración en múltiples etapas (FiMe). *Agronomía Colombiana*, 407-415. Obtenido de <http://ezproxyucdc.ucatolica.edu.co:2053/docview/1677585056?accountid=45660>
- SURRIBAS, C. F. (2010). H2O ELIXIR DE VIDA. *ELEMENTAL WATSON LA REVISTA*, 41.
- UNIDAS, N. (SEPTIEMBRE de 2005- 2015). *EL AGUA, FUENTE DE VIDA*. Obtenido de EL AGUA, FUENTE DE VIDA: <http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/waterforlifebklt-s.pdf>
- Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Diseño de plantas potabilizadoras. Bogotá. 2013. [en línea] http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/MODULO_CURSO_DISENO_DE_PLANTAS_POTABILIZADORAS_II-2013.pdf

12. ANEXOS

ANEXO 1. ANÁLISIS DE AGUA REALIZADO POR EMAPA 2018.

	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD INFORME DE RESULTADOS ANALISIS FISICO QUIMICOS Y MICROBIOLOGICOS	Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con Acreditación N° OAE LE C 14-001
17025-RG-CC-71-05		



Pág 1 de 1

DATOS DEL CLIENTE		DATOS GENERALES	
CLIENTE:	JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE SAN JOSE DE PICHUL	CODIGO DE IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:	1804373
DIRECCIÓN:	Rodrigo Terán S/N	TIPO DE MUESTRA (MATRIZ):	Agua Natural
PERSONA DE CONTACTO:	José Daniel Osorio Travez	RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:	Sr. Daniel Osorio
TÉLEFONO DE CONTACTO:	0983806605	FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO:	23 de abril de 2018: 8H50
PROCEDENCIA DE LA MUESTRA:	Sector San José de Pichul	FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS:	23 de abril de 2018
LUGAR DONDE SE TOMÓ LA MUESTRA:	Verfiente Pallaguayo	FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME:	02 de mayo de 2018
FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA:	23 de abril de 2018; 5H45	CONDICIONES AMBIENTALES:	
TIPO DE TOMA DE MUESTRA: (Puntual/compuesta):	Puntual	Humedad (%):	39
		Temperatura (°C):	21.6

ANÁLISIS REALIZADOS

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO UTILIZADO	Norma de referencia: TABLA 1. CRITERIOS DE CALIDAD DE FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DOMÉSTICO. TULSMA. LIBRO VI. ANEXO 1 (2015) **	RESULTADOS
COLOR REAL *	U Pt-Co	APHA-2120-C	75	2
TURBIDEZ *	NTU	APHA-2130-B	100	0,25
pH	-	APHA-4500H+B	6-9	7,31
ALCALINIDAD	mg/L	APHA-2320B	-	815,22
ARSENICO*	µg/L	HACH 2800000	100	25
CIANUROS*	mg/L	HACH-802*	0,1	0,001
COBRE *	mg/L	HACH-8506	2	0,01
CROMO HEXAVALENTE*	mg/L	HACH-8023	0,05	0,005
FLUOR	mg/L	HACH-8029	1,5	1,57
HIERRO*	mg/L	HACH-8008	1	0
NITRATOS*	mg/L	HACH-8039	50	5,13
NITRITOS *	mg/L	HACH-8507	0,2	0,114
SULFATOS	mg/L	HACH-8051	500	252
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO ₅) *	mg/L	APHA-5210-B	< 2	0
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO) *	mg/L	HACH 8000	<4	8
COLIFORMES FECALES *	nmp/100mL	APHA-9221-C	1000	0

* Ensayos fuera del alcance de acreditación del SAE.

** Los límites permisibles de la Norma de referencia descrita en el presente Informe están fuera del alcance de acreditación del SAE.

PARÁMETRO ACREDITADO	RANGO DE ACREDITACIÓN	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA DEL MÉTODO	MÉTODO DE ENSAYO UTILIZADO
Alcalinidad	50 - 2000 mg/L	2%	17025-PR-CC-36-XX; Método de referencia: Standard Methods, Ed. 22, 2012, 2330 B
Flúor	0,5 - 7,5 mg/L	16%	17025-PR-CC-32-XX; Método de referencia: HACH 8029
pH	4 - 10 UpH	2%	17025-PR-CC-20-XX; Método de referencia: Standard Methods, Ed. 22, 2012, 4500 H ⁸
Sulfatos	100 - 2500 mg/L	9%	17025-PR-CC-31-XX; Método de referencia: HACH 8051


NOTA: ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA QUE SE HA SOMETIDO A ENSAYO. EL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA EP-EMAPA-A NO SE RESPONSABILIZA DEL ORIGEN DE LA MUESTRA, TRANSPORTACIÓN DE LA MISMA Y VERACIDAD DE LOS DATOS DADOS POR EL CLIENTE. NO SE PERMITE A LOS USUARIOS EL USO DEL LOGOTIPO DEL SAE NI DE LA CONDICIÓN DE ACREDITADO (CIR GAR 04) NO SE DEBE REPRODUCIR EL INFORME DE ENSAYO, EXCEPTO EN SU TOTALIDAD, SIN LA APROBACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO. PARA LOS MÉTODOS BASADOS EN EL STANDARD METHODS LA EDICIÓN NO CORRESPONDE A LA ÚLTIMA VERSIÓN PUBLICADA. LA INFORMACIÓN COMPLETA RELATIVA A LOS ENSAYOS EMITIDOS EN EL PRESENTE INFORME ESTÁ A DISPOSICIÓN DEL CLIENTE.

OBSERVACIONES: Ninguna

PROFESIONALES RESPONSABLES:


 Ing. Verónica Cashabamba
 ANALISTA DE LABORATORIO




 Ing. Jacqueline Avila
 RESPONSABLE TÉCNICO

ANEXO 2. MEDICIÓN DEL CAUDAL



ANEXO 3. TANQUE DE CAPTACIÓN



ANEXO 4. TANQUE DE CLORACIÓN



ANEXO 5. TANQUE DE REGULACIÓN



ANEXO 6. PUNTOS DE MUESTREO



ANEXO 7. REPORTE DEL ANÁLISIS DE AGUA



RUC: 0992345063001

Ingeniería en Tratamiento de Aguas

Cálculo, diseño, construcción, automatización y control de Plantas de Tratamiento de Agua Potable y Residuales,

Fabricantes de productos Químicos, coagulantes, floculantes, etc.

Tenemos a su disposición materiales de laboratorio, análisis de laboratorio, repuestos de bombas, tableros y equipos de las

plantas de tratamiento de agua.

LABORATORIO DE AGUAS

REPORTE DE ANÁLISIS DE AGUA # CT 0018-0076

FECHA DE REPORTE:

03 de septiembre de 2018

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

PARÁMETRO	UNIDADES	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
pH	6,84	6,65	6,77
Turbidez	NTU	0,73	0,79	0,37
Temperatura	°c	13,00	13,00	13,00
Color	U. Pt-Co	3,00	2,00	2,00
Alcalinidad Total	mg/L como CaCO3	715,57	675,54	675,54
Alcalinidad Fenolftaleína	mg/L como CaCO3	0,00	0,00	0,00
Bicarbonatos (CO3H-)	mg/L como CaCO3	715,57	675,54	675,54
Carbonatos (CO3=)	mg/L como CaCO3	0,00	0,00	0,00
Hidroxilos (OH-)	mg/L como CaCO3	0,00	0,00	0,00
Dureza Total	mg/L como CaCO3	660,66	694,42	733,00
Dureza Cálcica	mg/L como CaCO3	472,59	395,43	361,68
Dureza Magnésica	mg/L como CaCO3	188,07	298,99	371,32
Calcio (Ca++)	mg/L	189,80	158,81	145,25
Magnesio (Mg++)	mg/L	45,87	72,92	90,57
Hierro (Fe+++)	mg/L	0,14	0,03	0,06
Cloruros (Cl-)	mg/L	53,39	48,53	53,39
Sulfatos (SO4=)	mg/L	350,00	370,00	360,00
Fosfatos	mg/L	6,27	5,52	11,02
Nitritos (NO2-)	mg/L	0,01	0,01	0,01
Nitratos (NO3-)	mg/L	1,50	1,40	1,50
Oxígeno Disuelto	mg/L	**	**	**
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	65,00	0,02	0,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	3,80	17,60	1,26
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	17,00	59,00	4,00

** Parámetro requiere ser medido in situ

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO				
PARÁMETRO	UNIDADES	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Coliformes Fecales	UFC/ml	0	0	0
Coliformes Totales	UFC/ml	0	0	0

WASCORPSA.
R.U.C.:0992345063001

Quito Panamericana Sur km 4 y 1/2 sector Culuglagua, Barrio Santa Isabel Calle B, # 35

Tel: (02)3-678-269 / (02)3-678-253

email: info@wascorpsa.com / ventas@wascorpsa.com

www.wascorpsa.com

ANEXO 8. RESULTADOS DEL MODELO DE GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO

Resultados de la propuesta

- POBLACIÓN FUTURA**

Datos

Po= 2000 hab

r = 0,87% = 0,0087

t = 25 años

$$Pf = Po (1 + r)^t = 2000hab (1 + 0,0087)^{25}$$

$$Pf = 2484 hab$$

- CAUDAL DE DISEÑO**

Caudal promedio

Datos

D= 150lt/ s.

Pf= 2484 hab

$$Qp = \frac{D}{86400s} \times Pf = \frac{150 \text{ lt/ s}}{86400} \times 2484hab$$

$$Qp = 4,31lt/ s$$

Caudal máximo

Datos

Qp= 4,31lt/ s

Cr= 0,6

$$Qd = Qp \times Cr = 4,31lt/ s * 0,6$$

$$Qd = 2,58lt/ s$$

- **DISEÑO DEL SISTEMA DE AIREACIÓN**

Los sistemas de aireación mecánica constituyen una alternativa interesante en sistemas de aireación difundida de alta eficiencia.

Mediante prácticos sistemas de descenso y elevación, los aireadores sumergibles tipo chorro ofrecen una transferencia de oxígeno fiable y de bajo coste en tanques de tamaño medio y pequeño, y en tanques de retención.

Para instalar los aireadores de chorro se debe realizar con un dispositivo de elevación de bombas, basta con descender estos aireadores independientes hasta el tanque de regulación sin necesidad de vaciarlos, y se pone en marcha el aireador de chorro. No necesitan de mucho mantenimiento.

Especificaciones técnicas

Para la instalación del aireador de chorros debe tener algunas especificaciones ya que el tanque de regulación tiene 4 m de profundidad

- Debe tener 3 eyectores
- El diámetro de salida de boquilla debe ser de 95mm
- Bomba que abastece los 3020 Lt.

Ilustración 12. Aireador sumergible tipo chorro



El aireador de chorro Flygt consta de tuberías de aspiración de aire, una bomba N y eyectores y su alojamiento.

Fuente. DINATEK. Productos de aireación

- **MEZCLA RÁPIDA**

Se realizó el test de jarras, que tiene como objetivo disminuir la dureza del agua para ello se tomó una muestra de agua de la vertiente de la quebrada Pailaguayco, y se realizó el siguiente procedimiento:

1. Tomar 1 L de muestra de agua en las jarras del test.
2. Dosificar el coagulante Sulfato de Aluminio $Al_2(SO_4)_3$ en los vasos de precipitación con dosis de 10, 20, 30 y 40 mg y mezclar con 10 ml de agua destilada para que se disuelva.
3. Realizar mezcla a 100 RPM durante 2 minutos.
4. Realizar mezcla a 40 RPM durante 15 minutos.
5. Dejar sedimentar partículas por 30 minutos.

Se tomó de referencia la tabla de clasificación de la dureza, según el libro de química industrial principios técnicos.

Tabla 8.5.1.2 4. Clasificación de aguas según el grado de dureza (Química Industrial Principios Técnicos)

Tipos de agua	mg/l	°fH	°dH	°eH
Agua blanda	≤17	≤1.7	≤0.95	≤1.19
Agua levemente dura	≤60	≤6.0	≤3.35	≤4.20
Agua moderadamente dura	≤120	≤12.0	≤6.70	≤8.39
Agua dura	≤180	≤18.0	≤10.05	≤12.59
Agua muy dura	>180	>18.0	>10.05	>12.59

Fuente. Química industrial principios técnicos.

Tabla 16- 1. Resultados obtenidos del test de jarras

	Adición $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ mg	Temperatura $^{\circ}\text{T}$	pH	Turbiedad	OD %	Con.	dH
Parámetros iniciales		17,7	7,3	41,8	78,2	3,2	7,4
1	10	17,3	4,2	31,4	66	2,9	6,6
2	20	17,2	3,9	16,9	60	2,2	6,6
3	30	17,5	3,7	9,63	55	1,9	5,5
4	40	17,4	3,6	0,26	36	1,26	4,1

Elaborado por. Elizabeth Flores

La dosificación del coagulante es para disminuir la dureza del agua, según el test de jarras realizado la dosificación más óptima es de 40mg de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, donde se evidencia que el valor de la dureza disminuye a un 4,1 que según la tabla de clasificación de dureza tabla 16- 1, se pasa de agua dura a agua moderadamente dura. Y según la tabla 2 del libro TULSMA la dureza debe ser 500 mg/L CaCO_3 mediante el test se disminuye a 385,63 mg/L CaCO_3 .

- **DISEÑO DEL VERTEDERO PARA LA MEZCLA RÁPIDA**

Vertedero triangular

Para el diseño se considerará un caudal de trabajo de 2,9lt/s o 0.0029 m^3/s pues es el caudal que abastece a la población. El diseño se hace considerando un ángulo de 90° para así determinar todas las propiedades hidráulicas.

Datos de diseño son:

$$Q = 0.0029 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$C_d = 0.6$$

$$\Theta = 90^{\circ}$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Al conocer el caudal se despeja la H máxima, para determinar las demás dimensiones del vertedero:

Altura de la lámina de agua

$$H = \left(\frac{Q}{\frac{8}{15} Cd \sqrt{2g} \left(\tan \frac{\theta}{2} \right)} \right)^{\frac{2}{5}} = \left(\frac{0.0029 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{8}{15} (0,6) \sqrt{2(9,81\text{m/s}^2)} \left(\tan \frac{90}{2} \right)} \right)^{\frac{2}{5}} = 0,084\text{m}$$

Caudal unitario

$$q = \frac{Q}{B} = \frac{0.0029 \text{ m}^3/\text{s}}{0,168\text{m}} = 0,017\text{m}^3/\text{s} * \text{m}$$

Altura Crítica

$$hc = \left(\frac{q^2}{g} \right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{(0,017\text{m}^3/\text{s} * \text{m})^2}{9,81\text{m/s}^2} \right)^{\frac{1}{3}} = 0,03\text{m} = 3\text{cm}$$

Profundidad después del vertedero

$$h_1 = \frac{hc \sqrt{2}}{1.06 + \left(\frac{H}{hc} + 1.5 \right)^{\frac{1}{2}}} = \frac{0,03 \sqrt{2}}{1.06 + \left(\frac{0,084\text{m}}{0,03\text{m}} + 1.5 \right)^{\frac{1}{2}}} = 0,01\text{m}$$

Velocidad al inicio del resalto

$$v_1 = \frac{q}{h_1} = \frac{0,017\text{m}^3/\text{s}}{0,01\text{m}} = 1,7\text{m/s}$$

Número de Froude

$$F = \frac{v_1}{\sqrt{g * h_1}} = \frac{1,7\text{m/s}}{\sqrt{9,81\text{m/s}^2 * 0,01\text{m}}} = 5,43 \text{ Cumple}$$

El diseño cumple los requerimientos si el número de Froude se encuentra entre 4.5 y 9, de esta forma se garantiza un resalto estable en el canal.

Altura después del resalto

$$h_2 = \frac{h_1}{2} * \sqrt{1 + 8F^2} = \frac{0,01\text{m}}{2} * \sqrt{1 + 8(5,43)^2} = 0,076\text{m}$$

Energía disipada en el resalto

$$h_p = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4 * h_1 * h_2} = \frac{(0,076\text{m} - 0,01\text{m})^3}{4 * (0,01\text{m} * 0,076\text{m})} = 0,094$$

Velocidad al final del resalto

$$v_2 = \frac{q}{h_2} = \frac{0,017m^3/s}{0,076m} = 0,22m/s$$

Longitud del resalto

$$L_m = 6 * (h_2 - h_1) = 6 * (0,076m - 0,01m) = 0,40m$$

Distancia a sección estable

$$L_j = 4.3 * H * \left(\frac{h_c}{H}\right)^{0.9} = 4.3 * 0,084m * \left(\frac{0,03m}{0,084m}\right)^{0.9} = 0,14m$$

Velocidad promedio en el resalto

$$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2} = \frac{1,7m/s + 0,22m/s}{2} = 0,96m/s$$

Tiempo de mezcla

$$T_m = \frac{L_m}{v_m} = \frac{0,40m}{0,96m/s} = 0,41s$$

Gradiente de velocidad

Datos:

$$\gamma = 9,800 \text{ kN/m}^3 \text{ (Tabla 7)}$$

$$\mu = 1,206 \times 10^{-3} \text{ (Tabla 7)}$$

$$G = \sqrt{\frac{\gamma * h_p}{\mu * T_m}} = \sqrt{\frac{(9800) * 0,094}{1,206 \times 10^{-3} * 0,41}} = 1479,82s^{-1}$$

- **FLOCULACIÓN – MEZCLA LENTA**

Distancia total recorrida

Datos:

$$v = 0,22 \text{ m/s}$$

$$t = 20 \text{ min (Tabla 21)}$$

$$L = v * t = 0,22 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 20 \text{ min} * 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} = 264 \text{ m}$$

Volumen de agua a mezclar

Datos:

$$Q = 2,9 \text{ l/s} = 0,0029 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$t = 20 \text{ min (Tabla 22)}$$

$$V = Q * t = 0,0029 \text{ m}^3/\text{s} * 20 \text{ min} * 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} = 3,48 \text{ m}^3$$

Área transversal requerida

$$A = \frac{Q}{v_2} = \frac{0,0029 \text{ m}^3/\text{s}}{0,22 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0,018 \text{ m}^2$$

Profundidad de la lámina de agua

Datos:

$$a = 0,15 \text{ m (Tabla 10)}$$

$$d = \frac{A}{a} = \frac{0,018 \text{ m}^2}{0,15 \text{ m}} = 0,12 \text{ m}$$

Para un factor de seguridad del 10%, la profundidad total del tanque será:

$$Z_{zf} = d * f_s = 0,12 \text{ m} * 1,10 = 0,132 \text{ m} = 0,15 \text{ m}$$

Espacio libre entre tabiques

$$e = 1,5 * 0,15 = 0,225 \text{ m}$$

Longitud efectiva

$$B_f = 4,5 \text{ m (Tabla 10)}$$

$$l = B_f - e = 4,5 \text{ m} - 0,225 \text{ m} = 4,2 \text{ m}$$

Número requerido de canales

$$N = \frac{L}{l} = \frac{264 \text{ m}}{4,2 \text{ m}} = 62,8 = 63 \text{ canales}$$

Longitud total interior de la cámara de floculación.

Datos:

b= 3cm=0.03m (Tabla 10)

$$L_T = N * a + (N - 1)^b = 63 * 0,15 \text{ m} + (63 - 1)^{0,03\text{m}} = 10,18$$

El radio hidráulico

$$R = \frac{A}{2d} = \frac{0,018\text{m}^2}{2(0,12)} = 0,075$$

Pérdidas por fricción

Datos

n= 0,013 concreto simple (Tabla 9)

$$h_f = \frac{(nv)^2 * L}{R^{\frac{4}{3}}} = \frac{[(0,013)(0,22)]^2 * 264}{0,075^{\frac{4}{3}}} = 0,06\text{m}$$

Pérdidas adicionales

Datos

k= 3 (Tabla 10)

$$h_a = \frac{K(N - 1)v^2}{2g} = \frac{3(63 - 1)(0,22)^2}{2(9,81)} = 0,45\text{m}$$

La pérdida total

$$H = h_f + h_a = 0,06\text{m} + 0,45\text{m} = 0,51\text{m}$$

Gradiente de velocidad

Datos

t = 20min = 1200s

$\mu = 1,207 \times 10^{-6}$ (Tabla 7)

g = 9,81

$$G = \sqrt{\frac{gH}{\mu t}} = \sqrt{\frac{(9,81)(0,51\text{m})}{(1,207 \times 10^{-6})(1200\text{s})}} = 58,74\text{s}^{-1}$$

Número adimensional de Camp

$$Gt = G * t = 58,74 * 1200\text{s} = 70488$$

- **SEDIMENTACIÓN LAMINAR DE PLACAS**

Carga Superficial

Datos:

$l_p = 1,20\text{m}$ (Tabla 12)

$t_{rp} = 20 \text{ min}$ (Tabla 11)

$$V_{so} = \frac{l_p}{t_{rp}} = \frac{1,20\text{m}}{20 \text{ min}} = 0,06 \frac{\text{m}}{\text{min}} = 86,4\text{m/día}$$

Área de sedimentación acelerada

Datos:

$Q = 0.0029 \text{ m}^3/\text{s} = 250,56 \text{ m}^3/\text{día}$

$V_{so} = 86,4\text{m/día}$

$\Theta = 60^\circ$

$$A_s = \frac{Q}{V_{so} \sin \theta} = \frac{250,56 \text{ m}^3/\text{día}}{86,4\text{m/día} \sin 60^\circ} = 3,34 \text{ m}^2$$

Longitud del área de sedimentación acelerada

Datos:

$A_s = 3,34\text{m}^2$

$B_s = 2,40\text{m}$ (Tabla 12)

$$L_s = \frac{A_s}{B_s} = \frac{3,34\text{m}^2}{2,40\text{m}} = 1,40 \text{ m}$$

Longitud relativa del sedimentador

Datos:

$l_p = 1,20\text{m}$ (Tabla 12)

$e_p = 5 \text{ cm}$ (Tabla 11)

$$L_r = \frac{l_p}{e_p} = \frac{1,20\text{m}}{0,05\text{m}} = 24$$

Longitud relativa en la región de transición

Datos:

$v_{so} = 0,06\text{m/min} = 0,001\text{m/s}$

$e_p = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$ (Tabla 11)

$\nu = 1,207 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (Tabla 7)

$$L' = \frac{0,013v_{so} * e_p}{\nu} = \frac{0,013(0,001\text{m/s}) * 0,05 \text{ m}}{1,207 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 0,60$$

Longitud relativa corregida

Datos:

$L_r = 24$

$L' = 0,60$

$$L' \leq L_r/2 \quad 24 \leq 12$$

$$L_c = L_r - L' = 24 - 0,60 = 23,4$$

Velocidad crítica de sedimentación

Datos:

$S_c = 1$ (Tabla 13)

$V_{so} = 86,4 \text{ m/día}$

$L_c = 23,4$

$$v_{sc} = \frac{S_c * v_{so}}{\sin 60 + L_c \cos 60} = \frac{1 * 86,4 \text{ m/día}}{\sin 60 + 23,4 \cos 60} = 6,87 \text{ m/día}$$

Número de Reynolds: (NRE)

Datos:

$V_{so} = 86,4 \text{ m/día} = 0,001 \text{ m/s}$

$e_p = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$

$\nu = 1,207 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$$N_{RE} = \frac{v_{so} * e_p}{\nu} = \frac{0,001 \text{ m/s} * 0,05 \text{ m}}{1,207 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}} = 41,42 \text{ Flujo laminar}$$

Volumen del sedimentador

Datos:

$L_s = 1,40 \text{ m}$

$B_s = 2,40 \text{ m}$ (Tabla 12)

$Z_s = 3 \text{ m}$ (Tabla 11)

$$V_{TS} = L_s * B_s * Z_s = 1,40 \text{ m} * 2,40 \text{ m} * 3 \text{ m} = 10,08 \text{ m}^3$$

Tiempo de retención en el tanque de sedimentación: (trc)

Datos:

$V_{TS} = 10,08 \text{ m}^3$

$Q = 0,0029 \text{ m}^3/\text{s}$

$$t_{RC} = \frac{V_{TS}}{Q} = \frac{10,08 \text{ m}^3}{0,0029 \text{ m}^3/\text{s}} = 3475,9 \text{ s} = 58 \text{ min}$$

Número de placas

Datos:

$L_s = 1,40 \text{ m}$

$l_p = 1,20 \text{ m}$ (TABLA 12)

$e_p = 5 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$ (TABLA 11)

$b_p = 0,01 \text{ m}$ (TABLA 12)

$$N_p = \frac{[L_s - (l_p \cos \theta)] \sin \theta + e_p}{e_p + b_p}$$

$$N_p = \frac{[1,40 \text{ m} - (1,20 \text{ m} \cos 60)] \sin 60 + 0,05 \text{ m}}{0,05 \text{ m} + 0,01 \text{ m}} = 12,5 = 13$$

• FILTRACIÓN

El cálculo será de un sistema de filtro rápido ya que la velocidad de filtrado es superior a $5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ h}$, y se usan normalmente en agua potable, que previamente pasan por un proceso de coagulación.

Según Romero Jairo, las principales características de un filtro rápido son:

- Tasa de filtración: 120 m/d
- Medio filtrante: Arena
- Duración carrera: 12 horas
- Perdida de carga: 30 centímetros
- Drenaje: Falso fondo

Número de filtros

$Q = 2,9 \text{ lt/s} = 250,56 \text{ m}^3/\text{día}$

$$N = 0,44\sqrt{Q} = 0,44\sqrt{250,56 \text{ m}^3/\text{día}} = 0,7 = 1$$

Caudal unitario

$$q_u = \frac{Q}{n} = \frac{250,56 \text{ m}^3/\text{día}}{1,00} = 250,56 \text{ m}^3/\text{día}$$

Área superficial

$$A_s = \frac{q_u}{C_s} = \frac{250,56 \text{ m}^3/\text{día}}{120 \text{ m/día}} = 2,08 \text{ m}^2$$

A_s = Area superficial

C_s = Tasa de filtración

De esta manera si se quiere un diseño cuadrado el lado de la cámara será de 1,5 metros.

ANEXO 9. TEST DE JARRAS DOSIFICACIÓN DEL SULFATO DE ALUMINIO



